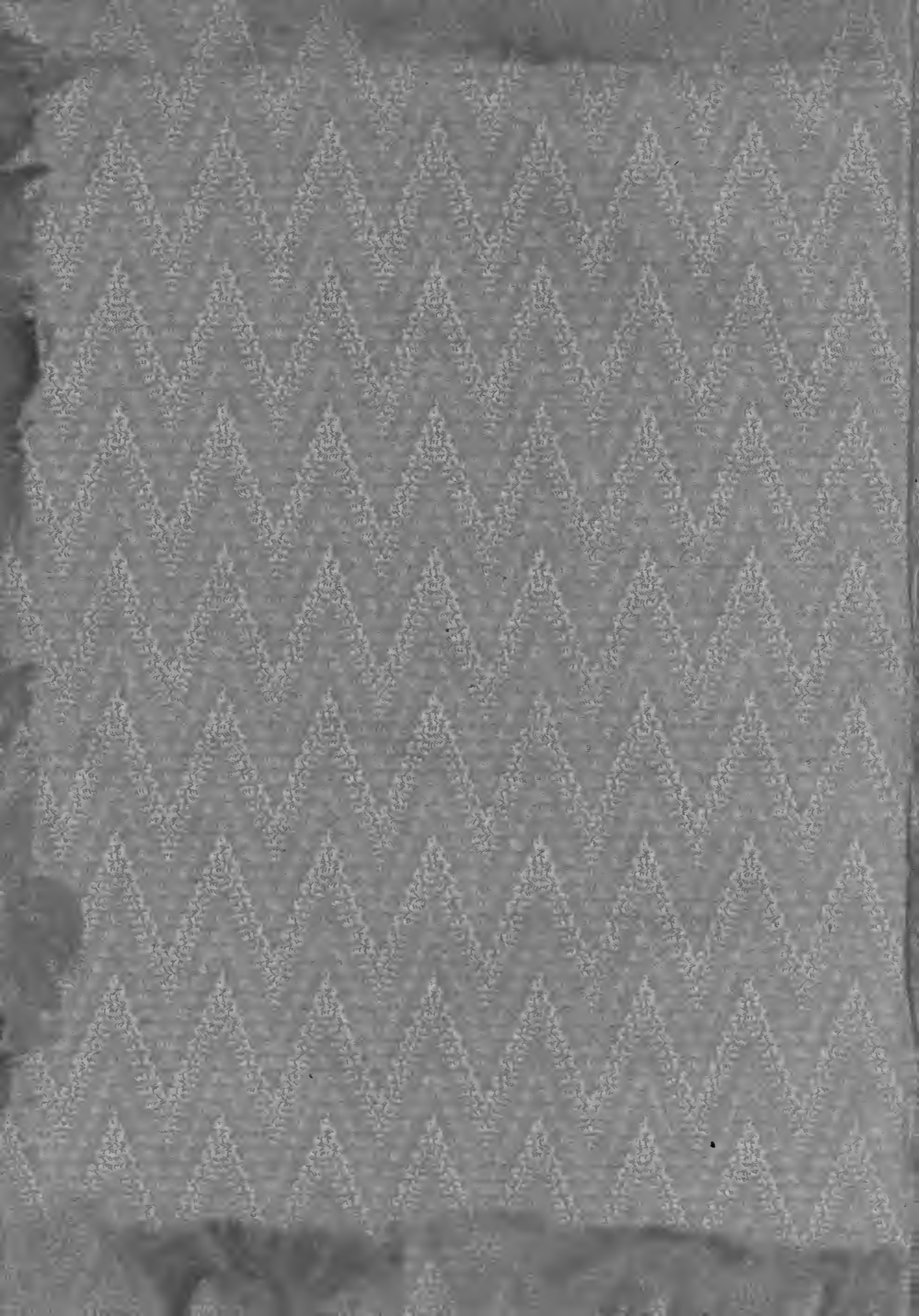
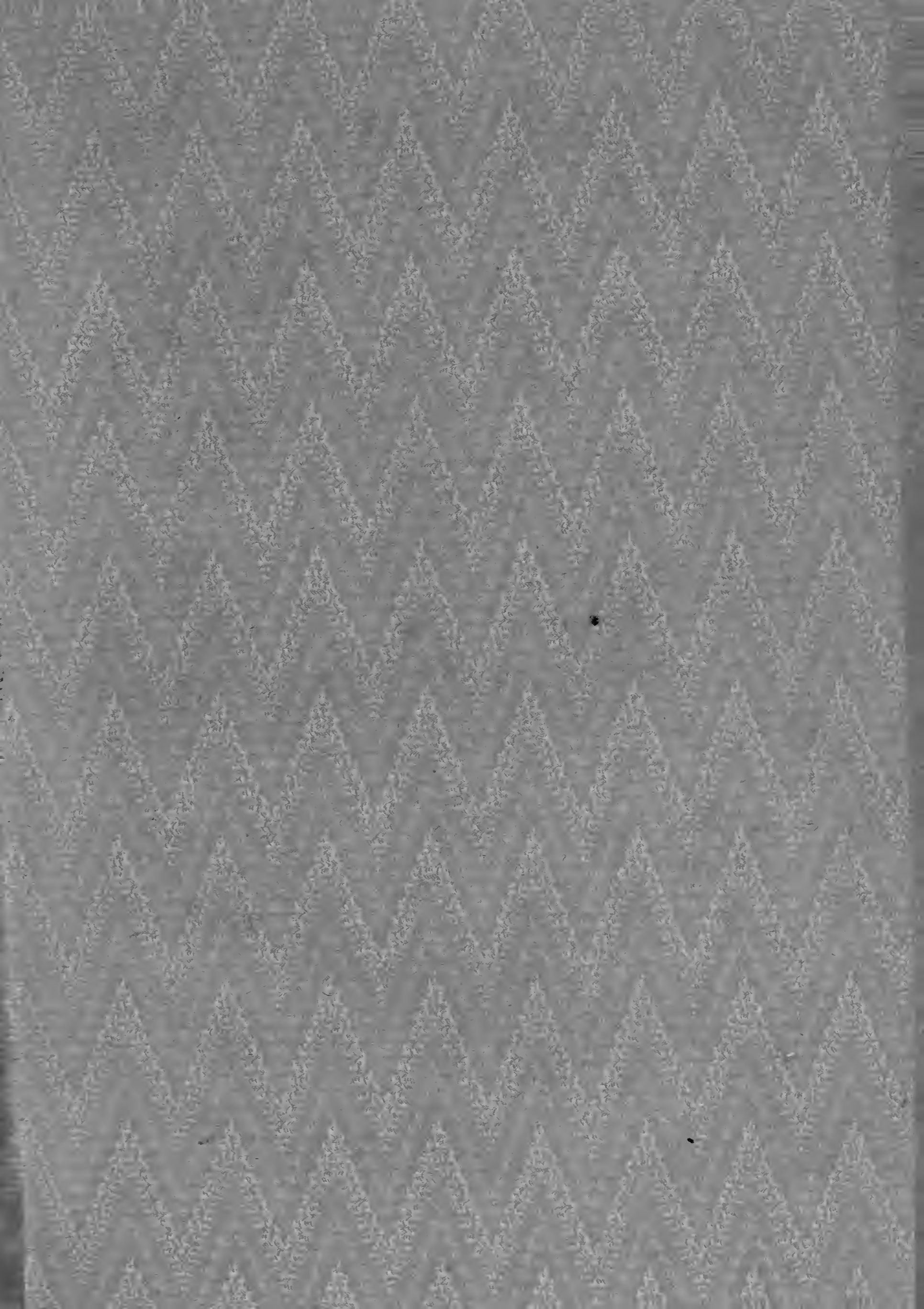




TRATADO
DE NAVEGACION.

TOMO SEGUNDO.



TRATADO

DE NAVEGACION.

POR

DON JOSEF DE MENDOZA Y RIOS,

TENIENTE DE NAVIO DE LA REAL ARMADA.



TOMO SEGUNDO.

DE ÓRDEN SUPERIOR.

MADRID: EN LA IMPRENTA REAL.

AÑO DE 1787.

LIBRO SEGUNDO.

QUE CONTIENE LA NAVEGACION PURA.

PRIMERA PARTE.

NAVEGACION DE ESTIMA.

Todas las qüestiones de la Navegacion se reducen á problemas sobre las posiciones relativas de los lugares, ó puntos de la superficie de nuestro globo; y asi, luego que llegue á la práctica de su facultad, el Piloto hallará necesaria una Carta de las regiones por donde se propone navegar, que se las presente á la vista, de un modo propio para tales aplicaciones.

La menor distancia de dos lugares situados sobre la superficie de la Tierra es un arco de círculo máxîmo, y por él deben, consiguientemente, dirigirse los caminos en tierra, á ménos de tropezar con algun obstáculo invencible. Pero como en la Mar, la única señal que manifiesta el camino de la nave es la Aguja, que hace conocer su ángulo con el meridiano, ó rumbo, para seguir un arco de círculo máxîmo, sería preciso mudar de rumbo, y averiguar de quánto debia ser la variacion á cada paso: complicacion no ménos penosa en las operacio-

nes teóricas, que peligrosa y dificil en la práctica. Por tanto, en la Navegacion resulta absolutamente indispensable, el sacrificar la ventaja del camino mas corto, que á la verdad es inconsiderable, por seguir el mas cómodo y seguro. Y asi, aunque por medio de la Trigonometría esférica, pudieran resolverse todos los problemas de la Navegacion por arcos de círculo, abandonados éstos, es tambien preciso buscar otros principios, y fundar toda la teórica del Pilotage en la naturaleza de la línea que el mismo medio que lo señala hace preferible para el camino de la nave.

Toda Carta, pues, que se destine á los usos del Pilotage, deberá ser aproposito para hallar la longitud de tales líneas, y el ángulo constante con el meridiano de la que conduzca de un parage á otro. Si la Tierra, en vez de esférica, fuese cilíndrica, esto se lograria facilmente; porque, considerando desplegada la superficie exterior del cilindro, resultaria un paralelogramo facil de imitar, en el qual todas las líneas del rumbo formarían líneas rectas: y siéndolo tambien entonces los meridianos y paralelos, las qüestiones del Pilotage se resolverian por las reglas de la Trigonometría plana. La verdadera figura de la Tierra se opone á la sencilléz de este artificio. Pero pudiendo considerarse circunscripto á

nues-

nuestro globo un cilindro indefinido, cuya basa sea el equador, las relaciones de las dos superficies proporcionan el mismo medio, aunque mas complicado; y de aqui resultan las Cartas esféricas ó reducidas, de que hablarémos despues de haber dado una nocion de la que se llama Carta plana.

DE LAS CARTAS.

1 La Carta plana se deduce de la última de que hablamos en la Geografía, en la qual, si por los puntos L, y A del paralelo medio, se tiran las dos rectas *mn*, *pq* paralelas al meridiano HV, que pasa por el medio *e* del mismo paralelo, resultará la Carta plana. En esta especie de Cartas se desatiende la disminucion que tienen realmente los paralelos de H ácia V, y se suponen todos iguales al paralelo medio LA, de donde procede que los meridianos son líneas rectas paralelas; y que por consiguiente, qualquiera otra recta tirada por dos puntos de la Carta corta todos los meridianos con el mismo ángulo, é indicaría por conseqüencia el verdadero rumbo que debería seguirse para pasar de un parage á otro, si la representacion del espacio que comprehende fuese exâcta. *Fig. 12. Libr. 1.º*

2 Pero, á pesar de la facilidad con que hemos

mos hallado una representacion, al parecer tan conveniente para las operaciones del Pilotage, se occurre facilmente, que, dando los grados de los paralelos demasiado cortos por un lado, y demasiado grandes por otro, estas Cartas son, tanto ménos exâctas, quanto la diferencia de latitud que comprehenden, es mas considerable, y que la latitud media es mas grande. Estas Cartas, abrazando solo un pequeño espacio, como de dos ó tres grados de largo y ancho, pueden tenerse por bastante exâctas, especialmente si sus limites están dentro de la zona tórrida, y aun una Carta plana de toda esta zona no diferiría mucho de la verdadera; pero siempre convendrá hacer uso de la esférica, que despues explicarémos, aunque la construccion y manejo de la otra sean mucho mas faciles.

Para construir una Carta plana, determinados ya sus limites, ó los grados de latitud y longitud que ha de abrazar:

1.° Tirese arbitrariamente una línea, para representar el meridiano que debe pasar por medio de la Carta, y dividase en tantas partes iguales, quantos grados haya de diferencia en latitud, teniendo cuidado de darles la magnitud que pueda buenamente contener el papel en que se execute.

En

2.° En su mitad elevese una perpendicular, que representará el paralelo medio. Y para hallar la dimension que debe darse en él á cada grado de longitud: con un radio AB igual á un grado del meridiano ó del equador, describase el arco BC, de tantos grados, quantos tiene la latitud media; y baxando la perpendicular CD á AB, la parte AD manifestará la magnitud que debe darse á cada grado del paralelo. Con lo qual, transportando AD sucesivamente tantas veces, quantos grados de longitud ha de comprehender la Carta, quedará determinada la porcion de paralelo que conviene; y podrá acabarse el rectángulo que representa los meridianos y paralelos extremos. *Fig. 1.*

3.° Divídanse unos y otros en grados ú otras partes, é indiquense con números las latitudes y longitudes correspondientes á las divisiones hechas. Despues de lo qual, tirando por ellas otras paralelas, ó viendo el punto en que se encuentran las puntas exteriores de dos compases guiados paralelamente á las líneas exteriores, podrán situarse todos los lugares segun sus latitudes y longitudes; con lo que se tendrá concluida la Carta.

3 Para remediar los defectos notados en la Carta plana, se han imaginado las esféricas ó reducidas, que, no variando la relacion entre las

par-

partes del meridiano y las de los paralelos, son de un uso, aunque no tan simple, bastante cómodo y muy exâcto.

4 Para conservar dicha relacion, haciendo los meridianos paralelos como en la Carta plana, en lugar de disminuir la extension de los grados de los paralelos al paso que la latitud aumenta, se les da constantemente el mismo tamaño que á los del equador; pero, para compensar este defecto, los grados de qualquier círculo máxîmo, se hacen mayores á correspondencia de lo que el paralelo de que se trata dista del equador. La ley de estos aumentos, y por consiguiente, la magnitud que debe tener en la Carta, una porcion de meridiano qualquiera, depende, como se ve, de la naturaleza de la superficie terrestre: y de esta consideracion resultan los siguientes principios, que son el fundamento de la construccion de las Cartas esféricas ó reducidas.

5 *La distancia entre dos meridianos, medida en el equador, es á la misma distancia en un paralelo qualesquiera: como el radio, al coseno de la latitud de éste.*

Fig. 2. *Demostracion.* Representando ABC un arco del equador, T el centro del globo, P el polo, PDB, PEG los dos meridianos de que se trata, y DEF, *def* dos paralelos arbitrarios. Se tendrá, por ser los arcos DE, *de* del mismo número de grados, é igua-

iguales cada uno al ángulo esférico BPG, DE á *de*, como el radio del primer paralelo DF al radio del segundo *df*. Pero los radios DF, *df* perpendiculares al exe PT, son los senos de los arcos DP, *d*P, ó lo que es lo mismo, los cosenos de las latitudes de los paralelos BD, B*d*; luego DE : *de* = *cos.* BD : *cos.* B*d*; por donde, suponiendo la latitud del primer paralelo nula, resulta BG : *de* = R : *cos. lat.*

6 De este principio resulta la construccion dada en el §. 2, 3° ; porque segun ella AC : AD = R : *cos. latitud.*

7 Del mismo principio se deduce : *Que una porcion qualquiera de un paralelo, es á otra de un círculo máxîmo de igual número de grados : como el radio, á la secante de la latitud del paralelo.*

Demostracion. En efecto, llamando *g* la primera porcion, y G la segunda, se tendrá, por ser todos los círculos máxîmos de la esfera iguales entre sí, y conseqüentemente al equador, *g* : G = *cos. latitud* : R. Pero, si en el quadrante P*p*E, *p*E representa esta latitud, *p*B su seno, y TB su coseno, la semejanza de los triángulos TB*p*, TEA dará, TB : T*p* = TE : TA; de donde, substituyendo en la analogía anterior la última razon, en lugar de la primera, resulta *g* : G = R : *secante latitud.* *Fig. 3.*

8 Asi, en las Cartas reducidas, haciendo el gra-

grado de cada paralelo igual al del equador constantemente, será necesario, quando se trate de un punto situado en una latitud qualquiera, contar el grado de círculo máxîmo, como si tuviese el grado del equador aumentado en la razon del radio á la secante de la latitud, esto es, multiplicado por la secante de la latitud dividida por el radio.

9. De aqui resulta: que en la Carta esférica, siendo los grados de todos los paralelos iguales á los del círculo máxîmo, los grados del meridiano ó de latitud no pueden ser iguales entre sí, y que al contrario deben aumentar, al paso que la latitud aumenta. Pero se padeceria equivocacion, si, supo-
Fig. 11. *Libr.* 1.° niendo que DF, CB son porciones de dos paralelos distantes de un grado, se concluyese de lo demostrado, que el arco FB del grado que mide la distancía de estos dos paralelos, debe ser en la Carta una línea igual al grado del equador multiplicado por la secante de la latitud partida por el radio; pues, considerándolo bien, se ve, que en F el valor del grado debe estar expresado por $\frac{G \times sec. QF}{R}$, y que, por la misma razon, en B debe ser igual á $\frac{G \times sec. QB}{R}$, llamando G al grado de círculo máxîmo. Se ve, pues, que siendo diferentes aquellas can-

cantidades, y no pudiendo, por consiguiente, tomarse una ni otra como la verdadera medida que debe darse á la distancia de los dos paralelos, no hay mas que disminuir esta distancia, para aproxîmar las expresiones, y poder adoptar una de ella sin error sensible. Con esta mira, si suponemos, por exemplo, que el arco FB es solo de un minuto, el valor del minuto en F deberá ser entonces igual á $\frac{M \times sec. QF}{R}$, y el de B igual á $\frac{M \times sec\ QB}{R}$, representando por M el minuto de círculo máxîmo; cuyas cantidades, difiriendo muy poco, pueden tomarse una ú otra indiferentemente como la justa medida del minuto en F, y B, ó del intervalo que debe ponerse entre los dos paralelos de la Carta reducida. Esta aproxîmacion, como se echa de ver, puede ser mucho mas exâcta, usando de partes menores; pero, para las aplicaciones generales, basta limitarse á los minutos, como hizo Wright en las tablas que construyó para ahorrar el trabajo de estos cálculos.

10 De todos modos, para calcular los aumentos que deben darse á las partes del meridiano, respecto á las dimensiones dadas á los paralelos en las Cartas reducidas, es necesario concebir el meridiano dividido en partes muy pequeñas, y multiplicando el valor de qualquiera de estas partes

por la secante de la latitud correspondiente dividida por el radio, se tendrá el valor que debe darse á la misma parte en la Carta. Asi, contentándose con la division en minutos, bastará tomar en las tablas ordinarias todas las secantes de minuto en minuto, sucesivamente desde el equador hasta el grado de latitud que se necesite, y la suma de todas estas secantes dividida por el radio dará un número de minutos, que, trasladados en el meridiano desde el equador, determinará en la Carta el grado de latitud de que se trata.

11 Tomando por unidad el radio y el minuto, ó parte que se use, la operacion, como se ve, se reduce á la simple adicion de todas las secantes; y de este modo, la distancia de un paralelo qualesquiera al equador queda expresada, por la suma de las secantes de todos los arcos entre el equador y el paralelo.

12 Estas partes, que deben darse á las porciones del meridiano, se llaman *partes meridionales*, y *latitudes crecientes* las latitudes señaladas segun este principio. Las partes meridionales tienen ademas otros varios usos muy útiles que indicarémos en adelante.

13 Con el auxîlio de las partes meridionales, que pueden hallarse por un método mas expe-

pedito (23), y están ya calculadas en las tablas que se encuentran en todos los Tratados de Navegacion, es facilisimo construir una Carta reducida, observando las siguientes reglas:

1.° Determinados los límites de la Carta, ó los grados de latitud y longitud que debe comprehender, escribanse todos los diferentes grados de latitud en una columna segun el orden en que se siguen, colocando en la parte superior el mas distante del equador, y en otra columna al lado las latitudes crecientes que corresponden á cada uno de ellos.

Por exemplo, en la Carta de la Lamina I.

Latitudes.	Partes meridionales en grados.	Latitudes.	Partes meridionales en grados.	Latitudes.	Partes meridionales en grados.	Latitudes.	Partes meridionales en grados.
59°..	.... 73,5.	46°..	.... 51,9.	33°..	.... 35,0.	20°.	... 20,4.
58....	.... 71,6.	45....	.... 50,5.	32....	.... 33,8.	19....	... 19,3.
57....	.... 69,7.	44....	.... 49,1.	31....	... 32,6.	18...	... 18,3.
56....	.... 67,9.	43....	.... 47,7.	30...	.... 31,5.	17...	.. 17,2.
55....	.... 66,1.	42....	.... 46,4.	29....	... 30,3.	16....	... 16,2.
54....	.... 64,4.	41....	.... 45,0.	28....	... 29,2.	15....	... 15,2.
53....	... 62,7.	40....	.... 43,7.	27....	... 28,1.	14....	... 14,1.
52....	.... 61,1.	39....	.... 42,4.	26....	.... 26,9.	13...	... 13,1.
51....	.... 59,5.	38....	.... 41,1.	25....	.... 25,8.	12...	... 12,1.
50...	.... 57,9.	37....	.... 39,9.	24....	.... 24,7.	11....	... 11,1.
49....	.... 56,4.	36....	.... 38,6.	23...	.... 23,6.	10...	... 10,1.
48....	.... 54,8.	35....	.... 37,4.	22....	.... 22,6.	9....	... 9,0.
47...	.... 53,4.	34....	.... 36,2.	21....	.... 21,5.	8...	... 8,0.

2.° Principiando despues por el inferior ó superior, escribase en otra columna enfrente de cada grado, la diferencia entre las partes meridionales de la menor latitud y las del grado correspondiente [1].

Latitudes.	Diferencias de las latitudes crecientes.	Latitudes.	Diferencias de las latitudes crecientes.	Latitudes.	Diferencias de las latitudes crecientes.	Latitudes.	Diferencias de las latitudes crecientes.
59°.	65,5.	46°.	43,9.	33°.	27,0.	20°.	12,4.
58.	63,6.	45.	42,5.	32.	25,8.	19.	11,3.
57.	61,7.	44.	41,1.	31.	24,6.	18.	10,3.
56.	59,9.	43.	39,7.	30.	23,5.	17.	9,2.
55.	58,1.	42.	38,4.	29.	22,3.	16.	8,2.
54.	56,4.	41.	37,0.	28.	21,2.	15.	7,2.
53.	54,7.	40.	35,7.	27.	20,1.	14.	6,1.
52.	53,1.	39.	34,4.	26.	18,9.	13.	5,1.
51.	51,5.	38.	33,1.	25.	17,8.	12.	4,1.
50.	49,9.	37.	31,9.	24.	16,7.	11.	3,1.
49.	48,4.	36.	30,6.	23.	15,6.	10.	2,1.
48.	46,8.	35.	29,4.	22.	14,6.	9.	1,0.
47.	45,4.	34.	28,2.	21.	13,5.		

Lamin. I. 3.° Esto hecho, tirese una línea AB para representar la porcion del paralelo que debe abrazar la Carta, y señalense en ella, por partes iguales de la magnitud conveniente, los grados de diferencia en longitud que contiene el espacio de que se trata.

Por

(1) Para expresarse facilmente, suele llamarse diferencia meridional en latitud, la diferencia entre las partes meridionales correspondiente á dos latitudes.

4.° Por los extremos A, y B del principio y fin de las divisiones, elevense las perpendiculares indefinidas AC, BD: y trasladense á estas líneas, sucesivamente principiando desde la AB, las divisiones expresadas por los grados meridionales hallados antes (2.°), tomados en la escala de partes iguales elegidas para representar los grados del equador; con lo qual podrá formarse el paralelogramo ABDC.

5.° Habiendo tomado las partes meridionales solo de grado en grado, como podrá hacerse quando es corta la magnitud que se dá á los grados en la Carta, ó que ésta es de punto menor segun se explican los Pilotos: dividase el de cada grado de longitud y latitud, esto es, el espacio comprehendido de division á division, en 60 partes iguales para representar los minutos, en 30 iguales cada una á dos minutos, ó en las que admita buenamente la escala que se use.

6.° Tirense líneas paralelas por las correspondientes divisiones de latitud y longitud, para representar los paralelos y meridianos que puedan ser convenientes.

7.° Establecido el primer meridiano, coloquense todos los lugares principales por sus latitudes y longitudes, que pueden sacarse de otra Carta ó de

las

las tablas de esta especie : trazando despues por ellos las configuraciones de las costas, islas &c. y añadiendo las profundidades del agua, direcciones de los vientos y corrientes, y demás circunstancias de esta clase, segun los parages y usos á que se destine la Carta (674, 675).

8.° Desde uno ó varios puntos de la Carta tracese una rosa de rumbos, esto es, tirense líneas que formen con el meridiano varios ángulos para lo qual es preferible, por lo que se verá despues, hacer que éstas dividan á cada uno de los quatro ángulos rectos de la interseccion del meridiano y paralelo en ocho partes iguales.

En el exemplo hemos omitido estas rosas, porque á la verdad no son necesarias, y porque, para el exâcto uso de una Carta, basta señalar en ella algunos meridianos ó paralelos.

14 Una Carta construida de este modo es propia para todos los usos del Pilotage, y si haciéndola de mayores dimensiones, ó de punto mayor, se aspira á mayor exâctitud, podrá conseguirse, siguiendo las mismas reglas con las partes meridionales, y tomándolas de minuto en minuto en lugar de grado en grado.

15 Atendiendo al fundamento de la construccion de la Carta reducida, se deducen muchos prin-

principios útiles en el Pilotage, en los quales nos ceñirémos ahora á la siguiente proposicion que necesitamos inmediatamente.

16 *Las divisiones del meridiano en la Carta reducida se componen de la série de las diferencias en longitud, que, correspondientes á cada minuto ú otra parte adoptada, resultan siguiendo el rumbo de 45.°*

Demostracion. Si la línea AD forma un ángulo de 45° con el meridiano BA, en qualquier paralelo el ángulo B debe ser recto, el otro ángulo D tambien de 45°, y el triángulo ABD isosceles. Asi, la diferencia en longitud BD será igual á la diferencia en latitud meridional AB; y, por consiguiente, en el rumbo de 45° la suma de todas las diferencias en longitud igual á la suma de todas las diferencias de las latitudes meridionales correspondientes. *Lam. I. Fig. 4.*

17 Estas nociones establecidas podrán servirnos de introduccion para explicar otro método de dividir el meridiano de las Cartas reducidas, que, siendo absolutamente distinto del de Wright, es además útil para resolver los problemas del Pilotage conforme á aquellos principios, sin la necesidad de las tablas de partes meridionales. El célebre Doctor Halley publicó en las Transacciones filo-

losóficas anglicanas una memoria muy interensante sobre este método, del que dice en ella lo que extractamos para dar una idéa de su mérito. *Que la línea del meridiano fuese análoga á la escala de los logarithmos de las tangentes de los semicomplementos de las latitudes es un descubrimiento que al principio se hizo por acaso, y que, en quanto he podido averiguar fué publicado la primera vez por M. Enrique Bond, ácia el año de 1645 por via de adicion al Epitome de Navegacion de Norwood. La dificultad de probar esta proposicion pareció tal á M. Mercator, el autor de la Logarithmotechnia, que propuso apostar una buena suma contra qualesquiera que se atreviese á emprender la demostracion de que fuese falsa ó verdadera. Y ácia el mismo tiempo Mr. Juan Collins, que estaba en correspondencia con la mayor parte de los famosos Matemáticos de entonces, los excitó á esta investigacion.*

El primero que demostró dicha analogia fue el excelente M. Jacobo Gregori en sus Exercitationæ Geometricæ publicadas en 1668, lo que no executó sin una larga série de conseqüencias y complicacion de proporciones, por donde en gran parte la evidencia de la demostracion se pierde, y el Lector se halla cansado antes de conseguirla. El mismo despues prosigue, y dice: *Ni ninguno que yo conozca ha descubierto aún la*

la regla, para computar con independencia el intervalo de las partes meridionales correspondientes á qualesquiera dos latitudes dadas.

El Doctor Halley dá una bella demostracion despues, y deduce varias conseqüencias útiles de la analogía mencionada; pero, siendo demasiado conciso y aún obscuro para los principiantes, nos ha parecido del caso extender sus principios del siguiente modo, que esperamos sea mucho mas inteligible y útil. Con este objeto, exâminarémos desde luego la naturaleza de las líneas de los rumbos en el globo, y deducirémos algunas conclusiones que necesitamos.

18 *En el Globo las líneas de rumbos obliquos al meridiano (que en adelante llamarémos loxôdromias) son espirales que continuamente se aproxîman al polo, pero nunca lo encuentran.*

Demostracion. Todas las direcciones que puede seguir una embarcacion son, ó segun el mismo meridiano, ó perpendicular, ú obliqua al meridiano. En el primer caso, que es el único en que fuera del equador camina por un círculo máxîmo, la embarcacion se acerca á cada instante, y continuando llegaria al polo. En el segundo es claro, que la embarcacion en su camino describe un paralelo al equador, y que por consiguiente se

mantiene constantemente á la misma distancia del polo. Pero en el tercero, como la línea del rumbo debe cortar todos los meridianos, formando ángulos iguales, y que estos meridianos, lejos de ser paralelos, son líneas inclinadas que concurren en los dos polos, se ve, que la loxôdromia, para conservar su ángulo constante, no puede ménos de aproxîmarse á alguno de ellos. Por otra parte, la loxôdromia no puede dirigirse ácia el mismo polo, sino seguir una direccion entre el meridiano y el paralelo; luego esta línea, aunque incesantemente se acerque al polo, nunca podrá alcanzarlo.

19 *La curva que resulta de la loxôdromia proyectada estereográficamente en el plano del equador, corta todas las proyecciones de los meridianos, formando con ellos un ángulo constante é igual al de la misma loxôdromia en la superficie del globo.*

Fig. 5. *Demostracion.* Sean ABCO, BGE dos círculos de una esfera que se cortan en B, O el punto en que se supone el ojo para la proyeccion estereográfica, PL el plano de proyeccion, cuya interseccion con el del círculo ABEF es el diámettro FC, HK, MN dos tangentes en B á los círculos ABCO, BGE. De un punto qualesquiera H de la tangente HK tirese la línea HM perpendicular á HK, de modo que encuentre la otra tan-

tangente en M, tambien HD paralela á FC, que encuentre la prolongacion de OB en D, y la línea MO, que cortará el plano de proyeccion en *m*. De lo que resultarán el punto *b*, y las líneas *bb*, *bm* por las proyecciones de la interseccion B y de las tangentes BH, BM.

Esto supuesto, tendrémos por construccion, el ángulo HDO igual al otro *bb*O, y por ser de la misma medida *bb*O=OBK; pero tambien es OBK=HBD, luego HDO=HBD, y por consiguiente el triángulo HDB isosceles, y HD=HB. Además, como HM, siendo perpendicular á HB, lo es tambien al plano ABCEO, y por consiguiente paralela al plano de proyeccion PL, es claro: que los dos triángulos *bmb*, HMD, que pueden considerarse como secciones de la pirámide OHMD, son paralelos entre sí, y que *bb* : *bm*=HD (=HB) : HM. Asi, los dos triángulos BHM, *bbm*, que tienen los lados HB, HM, y *bb*, *bm* proporcionales, y los ángulos H, y *b* comprehendidos entre ellos iguales, son semejantes, y conseqüentemente, el ángulo HBM es igual al *bbm*; y, como el primero es la medida del ángulo esférico GBC, resulta: que el ángulo formado por qualesquiera dos círculos en la proyeccion estereográfica es igual al ángulo de los

 mis-

mismos círculos en la superficie de la esfera.

Ahora pues: como cada pequeña porcion de la loxôdromia puede considerarse como un arco de círculo máxîmo, es evidente, que su proyeccion estereográfica en el equador, y la de todos los meridianos que son rectas concurrentes en el centro de aquel círculo, que entonces es tambien la proyeccion del polo, forman constantemente un mismo ángulo igual al de la superficie de la esfera ó globo terraqüeo.

20 Esta curva se llama *espiral logarithmica* por la razon que se verá inmediatamente, y tiene muchas bellas propiedades que los Geómetras indagan por el cálculo infinitesimal. Pero nosotros, sin valernos de estos medios, procurarémos demostrar de un modo facil las que son necesarias para nuestro asunto.

Fig. 6. 21 *En la espiral logarithmica las abcisas* FE, FD, FB, *ó arcos del círculo* FAMF *contadas desde el origen* F, *crecen en progresion aritmética, mientras las ordenadas* C*e*, C*d* &c. *disminuyen en progresion geométrica.*

Demostracion. Concíbase el círculo FAMF dividido en un cierto número de partes iguales FE, ED, tan pequeñas que, tanto ellas como las correspondientes porciones F*e*, *ed* &c. de la espiral pue-

puedan considerarse como líneas rectas. De este modo se formarán un gran número de triángulos CeF, Cde, Cbd, &c. rectilíneos, que, teniendo por la construccion y por la naturaleza de la curva todos los ángulos en C y los otros en F, e, d, &c. iguales, serán semejantes; y darán $CF : Ce = Ce : Cd = Cd : Cb =$ &c. esto es, una progresion geométrica ∺ CF, Ce, Cd &c. decreciente, porque la curva se aproxîma continuamente al centro. Pero los correspondientes arcos son al mismo tiempo FE, FD, FB &c. = FE, 2FE, 3FE, &c. luego éstas tambien forman una progresion aritmética creciente ÷ FE, 2FE, 3FE &c.

22 De esta propiedad de la curva se deduce, que, dividiendo el radio del círculo FAM, que llamarémos R, por cada término de la progresion geométrica, resultará otra progresion geométrica-creciente ∺ $\frac{R}{CF} = 1, \frac{R}{Ce}, \frac{R}{Cd}$, &c. cuyos términos, comparados á los de la progresion aritmética anterior, podrán tomarse como los números de que estos son logarithmos. Con lo que se tendrá

$\frac{R}{CF} = 1, \frac{R}{Ce}, \frac{R}{Cd}, \frac{R}{Cb}$, &c. térm. geom. ó núm.

0 , FE, FD, FB, &c. térm. aritm. ó log.

Asi



Así se ve, que, variando las espirales logaríthmicas, podrán tambien variarse casi al infinito las séries de los logarithmos que se emplean. Los Geómetras para determinarlas hacen uso de lo que llaman módulo, esto es, de la razon entre los dos primeros términos de la progresion aritmética, y los dos correspondientes de la progresion geométrica. Por lo qual, suponiendo que o, y FE sean los primeros, y 1, y $\frac{R}{Ce}$ los segundos, se tendrá por la expresion del módulo de la clase de logarithmos que contenga la espiral particular de que se trate $\frac{FE-o}{\frac{R}{Ce}-1} = \frac{FE}{\frac{R-Ce}{Ce}}$; cuya expresion, atendiendo á que CF, y Ce, por suposicion muy próxîmos, son sensiblemente iguales, y haciendo el radio igual á 1, se reducirá á $\frac{FE}{1-Ce} = \frac{FE}{Ee}$.

De todos los sistémas de logarithmos, el primero inventado por Nepero, y mas cómodo para los cálculos algebráicos, es el que tiene la unidad por primer término geométrico y módulo: que es el que resultará, quando en la espiral sea $FE = Ee$, esto es, por ser los radios perpendiculares á la circunferencia, quando el ángulo constan-



tante de la curva con los radios sea el de 45.° Estos son los que se llaman *logarithmos hiperbólicos*.

23 Por estos principios es muy facil demostrar la analogía entre las partes meridionales y los logarithmos de las tangentes de los semicomplementos de las latitudes. En efecto, tomando por radio el de la esfera, TG es igual á la tangente del ángulo TVG medido por la mitad del arco NB; de donde se sigue, que la distancia de toda proyeccion estereográfica de un punto qualesquiera de la esfera al centro del círculo de proyeccion, es igual á la tangente de la mitad del arco comprehendido entre aquel punto y el opuesto al ojo. Las ordenadas C*e*, C*d* &c. serán, pues, iguales á las tangentes de las mitades de las distancias al polo, ó semicomplementos de las latitudes de los puntos correspondientes en el globo; y por consiguientes, los arcos FE, FD &c. representarán los logarithmos de estas tangentes tomados con signo negativo, ó, lo que es lo mismo, los logarithmos de las cotangentes. Pero la escala de partes meridionales en la Carta reducida se compone (16) de las diferencias en longitud que resultan siguiendo desde el equador el rumbo de 45° luego dicha escala expresada en partes del radio será tambien igual á los logarithmos hiperbólicos de

Fig. 7. Lib. 1.°

Fig. 6.

de las cotangentes de los semicomplementos de las latitudes.

24 Dividiendo la semicircunferencia ..... 3,141592653 6 del círculo cuyo radio es la unidad, por el número 10800 de minutos que contiene, resultará el valor de un minuto igual á 0,00029088 2. Por donde, para tener la expresion de las partes meridionales en minutos como se acostumbra, se ve que no hay mas que dividir el logarithmo hiperbólico por el número ... 0,00029088 2.

25 Los logarithmos ordinarios de las tablas tambien podrán emplearse en estas operaciones, reduciéndolos ántes á hiperbólicos, esto es, dividiéndolos por 0,43429448. Usando, pues, de tales logarithmos, los de las cotangentes de los semicomplementos de las latitudes deberán dividirse, primero por 0,43429448, y luego por 0,00029088 2, ó lo que es lo mismo, de una vez por 0,0001663 &c.; y el resultado será igual á la escala de partes meridionales desde el equador hasta la latitud que se haya empleado, expresadas en minutos.

26 Este método es mas cómodo que el de Wrigth para hallar las partes meridionales, y construir por ella la Carta reducida; pero, aunque por uno

uno y otro se consigue señalar las posiciones relativas de los lugares como el Piloto necesita, es evidente, que, suponiendo lo esférico, la representacion que resulta no puede corresponder exâctamente á la superficie de nuestro globo, que tiene otra figura. Por tanto, ántes de dexar este asunto, convendrá exâminar las dimensiones que deben darse á los meridianos de las Cartas, atendiendo á esta diferencia. Notando al paso, quán conveniente sería, que todos los que trabajan en las descripciones propias para el Pilotage no la negligenciasen; pues, valiéndose de los cálculos que ofrecen las tablas, la construccion y uso de las Cartas serían igualmente fáciles, y el Piloto, sin complicar los medios, hallaría siempre mayor precision en los resultados.

27 Concíbase, que PEp' es un meridiano de la Tierra supuesta elíptica, Pp' su exe, y por consiguiente el exe menor de la elipse, TE el radio del equador, L un lugar qualquiera, de donde tírense las perpendiculares LF, y LB á ET, y Pp', y la normal LA. Desde el centro T, y con un radio igual á TE, descríbase el semicírculo CED, y tirando TG paralelo á LA, desde el punto G báxese á TE la perpendicular GH; que, siendo el ángulo GTH igual á LAE, representará el seno *Fig. 7.*

de la latitud del punto L, tomando por radio el del equador TE. Hagase tambien $TE=a$, $TP=b$, la distancia Tf del centro T al foco f de la elipse$=c$, el arco elíptico $EL=s$, $LF=BT=y$, $LB=FT=x$, y $GH=u$.

Esto supuesto: debiendo aumentarse, segun el principio de las Cartas reducidas (4), la diferencial Ll del arco LE en la razon del radio LB del paralelo al radio TE del equador; para hallar la parte meridional correspondiente tendrémos, llamándola dz, y formando el triángulo diferencial Lln, $ds:dz=LB:TE$, ó $dz=ds\times\frac{TE}{LB}$. Y como los triángulos semejantes Lln, LAF, y GTH dán $Ll(=ds):Ln(=dy)=GT:TH$, y por consiguiente $ds=dy\times\frac{GT}{TH}=dy\times\frac{a}{\sqrt{(a^2-u^2)}}$; tambien tendrémos $dz=\frac{a\,dy}{\sqrt{(a^2-u^2)}}\times\frac{TE}{LB}=$ $=\frac{a^2\,dy}{x\sqrt{(a^2-u^2)}}$. Pero, por una propiedad de la elipse, es la subnormal $FA=\frac{b^2x}{a^2}$, y por los triángulos semejantes $FA:FL=TH:HG$,

ó

ó $FA = y\frac{\sqrt{(a^2-u^2)}}{u}$, luego $\frac{y\sqrt{(a^2-u^2)}}{u} = \frac{b^2 x}{a^2}$,

y $x = \frac{a^2 y\sqrt{(a^2-u^2)}}{b^2 u}$; de cuyo valor, substituido

arriba, resulta $dz = \frac{b^2 u dy}{y(a^2-u^2)}$.

Ahora, prolongando LA hasta encontrar á CD en N, es por los triángulos semejantes LAF, TAN, AF : TF = AL : LN; ó por ser la normal $LA = \frac{1}{a}\sqrt{(b^4+c^2y^2)}$, y substituyendo por AF, y TF sus correspondientes valores, $\frac{b}{a}\sqrt{(b^2-y^2)}$: $\frac{a}{b}\sqrt{(b^2-y^2)} = \frac{1}{a}\sqrt{(b^4+c^2y^2)}$: LN, luego $LN = \frac{a}{b^2}\sqrt{(b^4+c^2y^2)}$. Asi, siendo $BN = \frac{a^2 y}{b^2}$, y LN : BN = TG : GH, esto es, $\frac{a}{b^2}\sqrt{(b^4+c^2y^2)}$: $\frac{a^2y}{b^2} = a : u$, será $a^2y = u\sqrt{(b^4+c^2y^2)}$, é $y = \frac{b^2 u}{\sqrt{(a^4-c^2u^2)}}$; y por consiguiente $\frac{dy}{y} = \frac{du}{u} + \frac{c^2 u du}{a^4-c^2u^2}$ $= \frac{du}{u} \times \frac{a^4}{a^4-c^2u^2}$.

Substituyendo, pues, este valor en la expresion hallada de dz, tendrémos, $dz = \frac{a^4 b^2 du}{(a^2-u^2)(a^4-c^2u^2)} = $
$= \frac{a^2 du}{a^2-u^2} - \frac{a^2 c^2 du}{a^4-c^2 u^2}$.

Para integrar esta expresion, tírese la tangente Ca en C al círculo CED[1], la secante Ta por medio del arco GC, la cuerda CG, y la línea GD; con lo que tendrémos dos triángulos semejantes aCT, CGD, y en ellos Ca : CT = CG : GD; pero, baxándo la perpendicular Gm á CD, el áreа del triángulo CGm, es á la del triángulo mGD: como $\overline{CG}^2$ á $\overline{GD}^2 = Cm \times Gm : mD \times Gm = Cm : mD$, ó $CG : GD = \sqrt{Cm} : \sqrt{mD} = \sqrt{(CT-GH)} : \sqrt{(CT+GH)}$, y por consiguiente, $Ca : CT = \sqrt{(CT-GH)} : \sqrt{(CT+GH)} = \sqrt{(a-u)} : \sqrt{(a+u)}$; luego $Ca = a \times \frac{\sqrt{(a-u)}}{\sqrt{(a+u)}}$, y $\frac{TE}{Ca} = \frac{\sqrt{(a+u)}}{\sqrt{(a-u)}}$, y $d.\ \log.\ \frac{TE}{Ca} = d.\ \log.\ \ldots$

(1) La misma integracion puede hacerse por un método mas directo que este que usa M. Mac-Laurin.

$\frac{\sqrt{(a+u)}}{\sqrt{(a-u)}} = \frac{a\,du}{a^2-u^2}$. Del mismo modo, tomando un seno op tal que op : GH $=$ Tf : TE, ú $op = \frac{cu}{a}$, será tambien, tirando la secante Th por la mitad del arco Co complemento de oE, la tangente C$h = \frac{a\sqrt{(a^2-cu)}}{\sqrt{(a^2+cu)}}$, y d. log. $\frac{TE}{Ch} = \frac{a^2c\,du}{a^4-c^2u^2}$; de donde se sigue, que la integral de dz, ó $z = TE \times \log. \frac{TE}{Ca} - Tf \times \log. \frac{TE}{Ch}$.

28 Para adaptar aquella fórmula á la esfera, no hay mas que hacer T$f = o$, y resulta la expresion de las partes meridionales $z = TE \times \log. \frac{TE}{Ca}$, y tomando por unidad el mismo radio de la esfera, $z = \log. \frac{1}{Ca}$, segun ya hemos visto (23).

Tomando tambien por unidad el radio del equador en el elipsoide, resulta ....

$z = \log. \frac{1}{Ca} - Tf \times \log. \frac{1}{Ch}$.

Estos logarithmos son hiperbólicos, y las cantidades están expresadas en fracciones del radio; por lo que para emplear los logarithmos ordinarios,

rios, y tener los resultados en minutos, deberán aplicarse las reducciones correspondientes (25).

29 Las partes meridionales para el elipsoide pueden deducirse facilmente de las ya calculadas para la esfera, por la siguiente regla que resulta de las mismas fórmulas. Expresando por u el seno de la latitud para la que se buscan las partes meridionales: tómese un número n igual á $\frac{1}{c}$, y divídase aquel seno por este número; lo que dará $\frac{u}{n}$: hállense en las tablas las partes meridionales correspondientes en la esfera á la latitud cuyo seno es $\frac{u}{n}$, y divídanse por n: substraígase despues el qüociente de las partes meridionales correspondientes, tambien en la esfera, á la latitud propuesta; y la resta será la expresion de las partes meridionales para la misma latitud en el esferoide terrestre.

30 Esta bella teórica tan conveniente para la mas justificada práctica de la Navegacion, se debe al célebre Colin Mac-Laurin, y se halla en su excelente tratado sobre las fluxîones, de donde lo tomó nuestro Excelentísimo Sr. D. Jorge Juan, para construir su tabla de partes meridionales para el

el elipsoide, publicada en las observaciones del viage al Perú.

DE LA AGUJA.

31 Las Cartas construidas como acabamos de explicar sirven para determinar la situacion de uno ó mas puntos de la superficie de nuestro globo por sus relaciones conocidas, ó para hallar estas mismas relaciones, dadas las posiciones absolutas. En uno y otro caso la facilidad de poder aplicarlas á la práctica de la Navegacion depende de los medios que se tengan, ya de adquirir los elementos necesarios para las resoluciones de los problemas, ya de seguir las reglas de los resultados. En la práctica grosera del Pilotage, estos medios se limítan generalmente á los necesarios para averiguar la direccion y camino de la nave; y por esto, ántes de entrar en la teórica de las operaciones, convendrá dar á conocer los instrumentos que en el dia tienen la comun preferencia en este uso.

El único medio que hasta ahora se ha descubierto para averiguar la direccion del camino de la nave, y tal vez el único que jamás se conocerá es la Aguja náutica; que, por consiguiente, es el primer instrumento de la Navegacion, y tan-

to mas precioso en ella, quanto su falta irremediablemente volvería á reducirla á un estado tan imperfecto como limitado. Arrastrados, pues, del grande influxo de la Aguja en el acierto de la Navegacion, y de la no menor importancia de la Navegacion para el actual cuerpo político de la Europa, vários hombres grandes han dirigido su atencion á buscar los medios de perfeccionarla: ya esforzándose á penetrar los misterios del imán, ya procurando aumentar su calidad ó fuerza directiva, y descubrir el mejor medio de aplicarla. Las penosas experiencias y tentativas de los físicos sobre este asunto, y el constante cuidado de las sociedades científicas en promoverles el deseo de la gloria con la emulacion de oportunos prémios demuestran á la verdad, que, si hay algun ramo de la Física en que las dificultades aumenten al paso que se hacen mas progresos, es sin duda aquel uno de los en que se vén mas variadas. Pero sin embargo, y á pesar de que la teórica del imán casi hasta nuestro siglo no ha principiado á explorarse por el camino verdadero, las ventajas que ya logramos sobre este punto son muy considerables, y no puede disimularse que lo serían mucho mas, si en general se mirára con el aprecio que merece. El comun de las gentes, en cuyo favor sacrifican to-

todo el tiempo de su vida los raros hombres que se hallan en el mundo tan sábios como bien intencionados, no solo suelen tratar con ingratitud los autores del beneficio que disfrutan, sino sepultar en el olvido las mismas invenciones que se dirigen á su utilidad : desgracia que ha cabido en parte á los que se han dedicado á perfeccionar la Aguja naútica. La construccion de estos preciosos instrumentos en gran parte de los paises européos está abandonada á artífices prácticos, que, demasiado destituidos de celo por la causa pública para procurar aumentar sus conocimientos, y aún dêmasiado ignorantes para penetrar el influxo de los que les faltan, ni saben, ni se hallan en estado de practicar los adelantamientos hechos por los sábios, y que son frutos preciosos de muchas sucesivas y penosas tareas. Este borron que no podia sospecharse de la ilustracion de nuestro siglo, no podrá subsistir por largo tiempo. En cuyo concepto, y en el de que nosotros no podemos tardar de sentir en esta parte los efectos del bien entendido celo que actualmente se ocupa de mayores cosas, nos èsforzarémos á dar un resumen de las principales reglas que deben observarsè en la construccion de las Agujas: èn la esperanza de que, aunque no para enseñar todo lo que pertenece á este

importante punto, sean á lo ménos suficientes para dar á conocer su delicadeza, y la necesidad de experimentar y estudiarlo profundamente.

De la piedra imán. 32 Como las propiedades naturales del imán hacen el fundamento de la Aguja naútica, ántes de pasar á la descripcion de este instrumento, darémos una nocion de aquella piedra.

El *imán* es una piedra que se halla en casi todas las minas de fierro y cobre, ó en sus proxîmidades, y es ordinariamente del mismo peso que aquel metal, ó á corta diferencia, dura, y obscura, ó de la misma color del fierro: aunque algunas veces es blanquecina, azul ó negra, y recibe la impresion de la uña.

33 Las principales propiedades del imán son estas: 1.° La atraccion, ó la virtud por la qual el imán atrae las materias de su especie, como el fierro y el acero. 2.° La direccion, ó la virtud por la qual el imán se vuelve ácia los polos del mundo con mas ó menos desvío, segun el lugar de la Tierra en que se halla. 3.° La inclinacion, ó la virtud por la qual una planchuela tocada al imán suspendida por un exe se inclina al horizonte. 4.° La virtud de comunicar estas mismas propiedades á las materias de su especie, frotándolas convenientemente.

Las

34 Las propiedades del imán se distinguen por la comun denominacion de *magnetismo.*

35 Los dos extremos de la dimension que se dirige norte-sur, ó á corta diferencia, quando el cuerpo magnético se halla libre, se llaman *polos del imán*, y se distinguen por el de la Tierra á que mira cada uno.

36 El plano que corta esta dimension perpendicularmente, y á igual distancia de los dos polos, se llama *equador*, y la línea que une los dos polos es el *exe.*

37 Es muy facil percibir la direccion constante del exe del imán; pues, dexando nadar en agua parada un pedazo de corcho con una piedra imán encima, sin que haya fierro ú otra cosa en las proxîmidades que embarace su movimiento, se la verá disponer siempre, de modo que una parte mire constantemente al septentrion, y otra al medio-dia. Pero, para descubrir exâctamente la posicion de los polos, que son los puntos donde mas se manifiesta la virtud magnética, es necesario hacer uso de la siguiente experiencia.

38 Póngase el imán sobre un carton blanco bien liso, y echese por encima limadura de fierro limpia, lo que podrá executarse mas uniformemente con un tamiz: dénse algunos golpes suaves

con un palito sobre el carton, y luego se verá que la limadura removiéndose se dispone cimétricamente al rededor del imán, en direcciones curvas E, E ácia el equador, y siguiendo las líneas rectas A, B ácia los polos, que se hallarán en las partes del imán á que tienden estas líneas rectas.

Con mas precision aún se determinarán los polos, poniendo encima una aguja muy fina y corta, la qual se mantendrá elevada perpendicularmente en el lugar de cada polo, quedando obliqua en qualquier otro punto.

39 Si despues de haber hallado exâctamente los polos y el exe de un imán, se dexa en libertad nadando sobre un corcho, se verá, comparándolo á una meridiana bien determinada, que los polos del imán no miran precisamente á los del mundo, y que al contrario se desvían mas ó ménos al éste ó al oéste, segun los diferentes lugares de la Tierra en que se hace la observacion. La cantidad de este desvío, que se llama *variacion* del imán, varía tambien cada año, cada mes, cada dia, y aún cada hora en el mismo pais.

40 Haciendo nadar en mercurio un imán esférico, despues de conocidos exâctamente el exe y los polos, desde luego se dirigirá norte-sur á corta diferencia, pero tambien se notará que su exe

se

sè inclina de un modo constante. En nuestros climas el polo austral se inclina, y el boreal se eleva, y al contrario en el otro hemisferio. Pero la cantidad de esta inclinacion varía tambien en todos los lugares, y en todos los tiempos del año.

41 De todas las propiedades del imán, la que mas ha excitado la admiracion de los antiguos filósofos es la de la atraccion recíproca de dos imánes, de un imán y un pedazo de fierro, ó la de dos fierros, de los quales el uno, á lo ménos, esté imanado. Para observar bien este fenómeno, suspéndanse dos imánes, ó métanse cada uno en una caxita de madera nadando libremente en agua parada al abrigo de las agitaciones del aire: y poniéndolos á menor distancia de aquella á que sè extiende su esfera de actividad, se les verá aproxîmar con velocidad accelerada hasta tocarse en un punto. La experiencia hace conocer que los dos imánes se atraen por los polos de diferente nombre, ésto es, que el polo boreal del uno atrae el polo austral del otro, y el polo boreal de éste el polo austral del primero. Al contrario, los dos polos del norte, como los dos polos del sur, se huyen ó repelen, como puede acreditarse por la experiencia que antecede, hasta alejarse recíprocamente fuera de la esfera de actividad. De modo, que en

en el magnetísmo es una ley constante, que la atraccion mútua y recíproca se hace por los polos de diferente nombre, y la repulsion por los polos de la misma denominacion.

42 La atraccion del imán al fierro es aún mas vigorosa que la de un imán á otro imán. Poniendo, por exemplo, un pedazo de fierro cúbico que nunca haya sido imanado sobre un corcho, todo nadando en agua parada, y presentándole un imán por qualquier polo el fierro se le aproxîmará con viveza. Y recíprocamente, siendo el imán el que se ponga sobre el corcho, y el pedazo de fierro el que se le presente, aquel se aproxîmará á éste con la misma velocidad. De modo, que al parecer la accion del imán al fierro, y la del fierro al imán es igual y recíproca. En general, esta atraccion se extiende á todos los cuerpos que contienen partículas de fierro, cuyo número es muy grande en la naturaleza.

43 La fuerza del imán se aumenta prodigiosamente, armándolo despues de cortado por lo comun en forma de paralelepipedo, cuya mayor dimension es segun el exe de la piedra. Esta armadura consiste en dos planchuelas ó barritas de fierro, que se aplican á los dos polos, y que se sujetan con una ó mas faxas de laton. Las dos barri-

ritas deben ser por la parte inferior de mayor espesor, á fin de que, sobresaliendo por debaxo de la piedra, la toque formando los que se llaman *pies* ó *botones*, cuya superficie inferior debe estar muy lisa. La piedra en esta disposicion se cubre ordinariamente de una hoja de cobre bien adherente al resto, en cuya mitad se coloca un anillo que sirve para suspender el todo. Pero es de advertir, que de tales armaduras solo las barritas deben ser de fierro, y que en todas las demás partes convendrá cerciorarse de que no contienen mezcla ferruginosa que pueda ser sensible, exâminando ántes de usarlas, si el imán las atrae, ó si hacen efecto en una aguja imanada muy movible. *Fig. 9.*

44 Toda la fuerza del imán armado de este modo reside en los pies, á los quales, por esta razon, se suspende por contacto otro pedazo de fierro, en cuya mitad se engancha el peso que puede sostener la piedra, y es el que, comparado con el tamaño de ella, determina el grado de su vigor ó virtud atractiva (1).

La

(1) Sin embargo se caeria en un error, si por su fuerza se juzgase de la bondad del imán para comunicar el magnetismo. La experiencia acredita, que los imánes que levantan mas peso no son los que comunican mas virtud, y que al contrario los imánes muy pequeños y débiles para atraer el

45 La armadura es un modo de conseguir todo el efecto de la virtud natural de la piedra, pero el célebre Doctor Knight primeramente [1], y despues Mr. Mitchel, Mr. Duhamel en compañia de

el fierro comunican, no obstante, mucha virtud magnética. Esta verdad se ve con mas evidencia en los imánes artificiales, que generalmente comunican mucha virtud, y sin embargo levantan poco peso.

(1) Como el Doctor Knight prefirió siempre el ser testigo de la inquietud que causaban á los Físicos sus secretos á la mas noble satisfaccion de hacer un beneficio á su pátria ó á todo el mundo revelándolos, nos parece que el lector curioso no hallará fuera de propósito que extractemos aqui lo que despues de su muerte nos ha descubierto de sus operaciones Mr. Wilson (Transacciones filosóficas de 1779).

Mr. Wilson, que dice se halló presente con freqüencia quando el Doctor Knight executaba las operaciones mas importantes de su método de hacer imánes artificiales, las describe de este modo. El Doctor, habiendo tomado una gran cantidad de limadura de fierro limpia, la ponia en un tubo grande lleno de agua hasta mas de una tercia parte, y entonces con mucha diligencia y por muchas horas seguidas lo sacudia, para que de este modo la friccion recíproca de los granos de fierro separáse las partículas menores que pudieran quedar suspendidas por algun rato en el agua. El lógro de estas pequeñisimas partículas en bastante cantidad le parecia uno de los principales requisitos de la experiencia.

El agua, con aquella operacion ya muy sucia, la echaba en una vasija de barro, dexando atrás la limadura, y despues que el agua habia continuado asi bastante tiempo para vol-

de Mr. Antheaume, y otros físicos han descubierto modos de aumentar la de los imánes débiles, y dar á las barritas de acero, aún sin el toque de la piedra, una fuerza magnética extraordinaria. Actualmente estas barras magnéticas son muy comunes,

y

volverse clara, la arrojaba fuera sin remover el sedimento ferruginoso que quedaba todavia, y que entonces parecia reducido á polvo impalpable. Este polvo lo trasladaba despues á otra vasija para secarlo; pero, como la cantidad resultante de una operacion no era suficiente, le era preciso repetirla muchas veces.

Lograda ya la cantidad precisa, se seguia el hacer una pasta de este finísimo polvo, con algun ingrediente que contuviese el principio flogístico en cantidad considerable, para lo qual preferia á qualquier otro fluido el aceite de linazas.

Con estas únicas materias hacía una pasta, que trabajaba con gran cuidado ántes de amoldarla en formas convenientes: despues de lo qual, la ponia sobre madera, y algunas veces sobre tejas, para cocerla á poco mas ó ménos de un pié de distancia de un fuego moderado. El Doctor hallaba preferible el fuego moderado, porque el calor en mayor grado abria grietas á la composicion en muchas partes.

El tiempo necesario para el cocimiento ó seca de esta pasta era generalmente de cinco ó seis horas, ántes de llegar á un grado de dureza suficiente. Esto executado, y las diferentes piezas cocidas ya frias, el Doctor las comunicaba la virtud magnética en la direccion que se le antojaba, colocándolas por pocos segundos ó mas entre los extremos de su gran almacen de imánes artificiales.

y se prefieren como superiores al imán natural: llamándose en general *imánes artificiales* las que han adquirido las propiedades magnéticas por aquel ú otro camino. Una sola barrita de acero imanada es, pues, un imán artificial que tiene sus dos polos. Para el uso general se unen varias con faxas de un metal que no contenga acero en cantidad sensible, y aún se arman como los imánes naturales, y con el mismo objeto: siendo necesario entonces, poner todas las barritas que se unen para formar un imán artificial con todos los polos del mismo nombre ácia la misma parte. Freqüentemente, se usan tambien dos barritas solas colocadas en una caxa, separadas por un pequeño liston de madera, y comunicándose por un contacto comun de fierro á cada extremo; pero en tal caso los polos norte y sur deberán situarse alternativamente.

46 La *Aguja naútica*, ó *Bruxula* es, en general, un instrumento, cuya pieza principal consiste en una planchuela imanada dispuesta apropósito para indicar la direccion del meridiano. A la planchuela se dan las virtudes magnéticas por el toque de un imán natural ó artificial de los que hemos indicado. Pero, para proceder con orden, ántes de explicar los mejores métodos de verificar esta operacion, dirémos algo de las atenciones que deberán

rán tenerse acerca de la materia, figura, y magnitud de la planchuela.

De la materia de la planchuela. 47 El fierro admite siempre muy poco magnetismo, aunque por sí solo lo adquiere algunas veces, y con particularidad en ciertas posiciones. El acero recibe mas virtud magnética que el fierro, y el acero templado mas que el que no ha pasado por el temple, y en esto todos los físicos están acordes; pero, en quanto á la especie de acero que sea preferible, y el grado de temple que convenga á todos ó á cada uno, no se halla igual conformidad. En esta variedad nada nos parece mas acertado para ilustrar nuestro asunto, que traducir lo que sobre él dice Mr. Van-Swinden, Profesor de Filosofía en Franeker (en Frisia), en la Memoria que ha dibidido el prémio adjudicado por la Academia de las ciencias de París en 1777.

No nos detendrémos en exâminar todo lo que los físicos han escrito sobre este asunto, y me contentaré con notar, que por la experiencia de los mas célebres entre ellos, como MM. La Hire, Musschenbroek Bougner, du Fay, Du-Hamel, le Maire, y Antheaume, es cierto que hay aceros que no pueden imanarse como es necesario, y que adquieren ménos virtud que otros. Yo no se que haya reglas sobre este asunto, y la ex-

periencia únicamente debe decidirlo. Lo que nosotros creemos es, que conviene tomar el acero mas fino uniforme y libre de nudos que pueda hallarse, con lo que las partes recibirán la fuerza mas uniformemente.

Es además necesario que las planchuelas estén templadas con mucha dureza y con la uniformidad que sea posible; pues, asi retendrán la virtud con mas abundancia y por mas tiempo, aunque pueda haber algunas excepciones (1) *á esta regla. Como yo no me he hallado en estado de hacer por mí mismo experiencias sobre el modo mas ventajoso de templar el acero, no puedo hacer nada mejor que referirme á lo que MM. Du-Hamel y Antheaume han adelantado en este punto.*

Para hacer buenas barras magnéticas (dice Mr. Antheaume), *no es circunstancia indiferente la especie de acero que se emplea. Los aceros del Carmen* (que vienen de Kernant en Alemania), *y de la rosa* (2), *y los de Inglaterra son los mejores para este uso. Pero es necesario observar, quando se quiere que el temple sea duro sin recocimiento alguno, y que las barritas reciban bien la virtud magnética, que el temple*

(1) Mr. Blondeau, cuya autoridad en este punto es de gran peso, no cree que las haya.

(2) Este acero deriva su nombre de una mancha que aparece en el corazon quando se le rompe.

ple que conviene á uno, no conviene á otro. El acero de Kernant ó de la rosa conviene muy bien templado del modo ordinario, y el acero de Inglaterra sale mejor templado á paquete (1). *En el caso, no obstante, de limitarse al temple que se llama revenido al azul, todo temple es indiferente. Yo he experimentado, que se gana mucho en aplanar largo tiempo el acero con el martillo, despues del temple y el recocimiento.*

De la figura de la planchuela. 48 Elegida la ma-

(1) Mr. Blondeau asegura, que en sus experiencias el acero de Inglaterra templado duro del modo ordinario ha probado tambien como el mejor de los demás, y que por consiguiente, el temple á paquete no le es necesario para este objeto. Mr. Blondeau tampoco aprueba el revenido al azul, y combate otras prácticas de Mr. Antheaume que nosotros omitimos, como estrañas á nuestro objeto, y porque en estos puntos lo mejor que podrá hacer el artista es guiarse por sus propias experiencias, sin dexarse arrastrar de la celebridad de los autores: único medio por el qual podrá libertarse de las equivocaciones en que le precipitaria seguir á ciegas una regla general, que solo pudo ser buena para un caso. En este peligro caeria, por exemplo, si á todo acero que viene del mismo pais, ó tiene el mismo nombre, lo tratase igualmente; pues no hay duda, que en ellos se encuentran grandisimas diferencias. No obstante apuntarémos que, segun Mr. Blondeau, si se cubre de una capa de sebo el agua en que se templan las planchuelas, se conseguirá que éstas se atormenten mucho ménos.

materia y preparaciones propias para fabricar la planchuela, resta determinar la figura y proporciones que deban darsele. La figura de un romboide muy agudo ó flecha, ha sido universal y antigua, pero en el dia se halla bastante excluida, á lo ménos de la marina; aunque, segun Mr. Coulomb, que dividió el prémio de 1777, estas planchuelas, quando son pesadas, tienen ventajas sobre las de un ancho uniforme, como las planchuelas ligeras de un ancho uniforme las tienen sobre las otras.

Mr. de La Hire, que parece el primero que al principio de este siglo se ocupó de estas investigaciones, halló por experiencia, que las planchuelas curbas daban variaciones diferentes entre sí, y de las que daban las planchuelas rectas; las quales, sin embargo, no indican todas el mismo punto. Asi, despues de excluir varias figuras, Mr. de le Hire cree que las mejores planchuelas son las hechas de un alambre de acero bien recto, y un poco aplanado, puntiagudo en los dos extremos, y bastante extendido en el medio para abrirle un agujero, y soldarle un chapitel.

El Dr. Knight, que con tanto fruto ha trabajado sobre el magnetísmo, para exponer en 1750 la construccion de su nueva Aguja, hizo varias expe-

periencias muy curiosas sobre las planchuelas romboides; de donde concluye, que las planchuelas quadradas, ó rematando en líneas perpendiculares á sus dimensiones longitudinales paralelas, son las mejores para lograr buenas Agujas.

MM. Du Hamel, y Antheaume dicen, quê la figura que les ha parecido preferible para las planchuelas es un paralelógramo terminado por dos puntas muy obtusas, y que conviene darles media línea de espesor á corta diferencia.

Mr. Fleurieux, que ha hecho algunas reflexîones sobre la Aguja, aconseja dar á la planchuela la forma de un paralelepipedo, ó barrita aplastada cortada en punta á cada extremo, de seis pulgadas de largo, tres ó quatro líneas de ancho, y media línea de espesor (del pie de rey).

Mr. Lous estima por superiores las Agujas compuestas de varias planchuelas imanadas, colocadas paralelamente entre sí, y á iguales distancias del centro del movimiento por ambos lados. Estas planchuelas se fixan á una verguita de cobre ó madera, y esto las liberta de la necesidad de agujerearlas como las planchuelas únicas (que en sentir de algunos físicos es grande inconveniente), y las hace independientes del chapitel, que entonces se fixa á la misma verguita. Mr. Blondeau las

da

da toda su aprobacion, aunque, segun el parecer de Mr. Van-Swinden, deben abandonarse totalmente, en quanto á la propiedad de indicar el meridiano con exâctitud, que es el punto capital que se desea.

Segun Mr. Van-Swinden deben preferirse las barritas ó paralelepipedos mas anchos que espesos. En quanto á las dimensiones de que han de hacerse, la longitud y el espesor son á su parecer bastante arbitrarios, pero siendo siempre necesario que éste sea proporcionado á aquella: por exemplo, media línea de espesor bastará para las planchuelas de siete á ocho pulgadas. Sobre todo, por sus principios hay mucho que ganar, haciendo estrellas las planchuelas.

Mr. Blondeau, fundado en sus propias experiencias y la teórica de Mr. Coulomb, excluyendo absolutamente los romboides y figuras semejantes, se decide á favor de las planchuelas poco espesas, y rematando en punta, ó como hoja de laurel.

Consideradas, pues, estas diversas opiniones podrémos concluir, que los físicos modernos se hallan bastante acordes en juzgar, que las planchuelas simples y rectas son preferibles á las de qualquiera otra figura.

49 La planchuela deberá de todos modos bru-

bruñirse con la perfeccion posible, á fin de que, estando menos sujeta á tomarse, sea tambien mas propia para la adquisicion y permanencia de las virtudes magnéticas.

Del modo de imanar las planchuelas. 50 Supuesta ya la planchuela fabricada con toda la escrupulosidad que se requiere, veamos el modo de imanarla, ó comunicarla las propiedades magnéticas.

Si se tiene un imán natural, que para el caso deberá estar siempre armado, podrá emplearse del siguiente modo. Siendo *ns* (*fig.* 10) la planchuela, frótese una de sus mitades M*s* contra uno de los pies N (*fig.* 9) de la armadura de un imán de M ácia *s*, repitiendo la operacion sucesivamente varias veces, pero reponiendo siempre la mitad M contra el pie correspondiente sin tocarlo: hágase lo mismo con la otra mitad *n* M y polo S, y despues de esto la planchuela habrá recibido bastante virtud magnética. El extremo de la planchuela que corresponde á la mitad frotada contra el pié septentrional del imán será entonces el polo del sur, y al contrario.

51 El mismo fin puede conseguirse [1] con mu-

(1) Es de notar, que la excelencia del imán con que se toca la planchuela, y la gran virtud magnética que recibe segun

mucha mas ventaja de este otro modo. Colóquese sobre un plano horizontal, segun la direccion del meridiano magnético, ó á corta diferencia (1), dos planchuelas (2), separadas entre sí por una distancia igual á su ancho, poco mas ó ménos: y háganse comunicar por contactos de fierro á los extremos. Póngase despues uno de los pies del imán sobre el medio de una de las dos planchuelas, de modo que el exe de la piedra estando horizontal sea perpendicular á la direccion longitudinal de la planchuela: y muevase lentamente, frotando con fuerza hasta uno de los extremos de la plancuela. En llegando á esta situacion, vuélvase la piedra á la mí-

gun las circunstancias, aunque la hacen obedecer mas facilmente á las impresiones magnéticas, y que los obstáculos de la friccion y resistencia del aire sean como nulos, no producen mejor direccion que si se hubiese imanado ménos perfectamente. Al contrario, se observa, que toda especie de planchuelas imanadas en qualquiera parte del mundo, y con piedras de figura y calidades diferentes, se dirigen con bastante uniformidad segun el meridiano magnético particular de cada parage.

(1) El meridiano magnético, ó por mejor decir, la direccion del imán, se separa por lo general del meridiano terrestre, como ya hemos dado á entender, y dirémos despues.

(2) Lo mismo que decimos de las planchuelas puede aplicarse á qualquiera otra especie de barritas.



mitad de la planchuela, siguiendo una línea curva para no tocarla, y frótese de nuevo como ántes: repitiendo la misma operacion hasta unas diez ó doce veces, que regularmente bastarán para esta mitad de la planchuela. Hágase lo mismo en la mitad que queda con el otro pié de la armadura. Frótese tambien en iguales términos la otra planchuela, pero empleando para cada mitad el pié opuesto al que haya servido en la mitad correspondiente de la primera. Despues de esto, vuélvanse las planchuelas, y executése en el plano inferior de cada una exâctamente lo mismo que hemos explicado, frotándolas con el pié usado para su opuesta. Por cuyo medio, ambas planchuelas habrán adquirido una fuerte virtud magnética.

52 Un imán artificial armado podrá usarse del mismo modo que un imán natural. Pero, si se tienen dos imánes naturales ó artificiales, será sumamente ventajoso executar al mismo tiempo en cada planchuela lo que acabamos de prescribir sucesivamente. Este modo de imanar, que se llama *el toque doble*, es preferible al otro segun la unanime opinion de todos los físicos.

53 Hace tiempo que las experiencias han dexado fuera de duda, las grandes ventajas que resultan de preferir para imanar los imánes artificiales

á los naturales. Por esto, las barritas sueltas dotadas de una gran virtud se emplean freqüentemente para comunicar el magnetismo á las planchuelas, siguiendo diversos procedimientos, de los quales vamos á explicar algunos de los mas útiles.

54 Habiendo dispuesto las planchuelas como anteriormente (51), colóquense á plano sobre una de ellas las dos barritas, de modo que, correspondiendo sus polos opuestos al medio se hallen separadas por un pedazo delgado de carton, cobre, ó madera: muévanse asi sin desunirlas, sucesiva y muy lentamente, del medio ácia un extremo, de este extremo al otro, del segundo al primero, y asi en adelante, apoyando siempre sobre las barritas, hasta que queden bien imanadas las planchuelas.

Para conseguir el fruto de que es capaz esta operacion, segun Mr. Blondeau, es preciso que las barritas con que se imáne sean de una longitud á lo ménos doble de la de las planchuelas. Si asi no fuese, las barritas deberán emplearse como los dos imánes armados (52), pero el magnetismo que se comunique será entonces en menor cantidad.

55 Segun MM. Antheaume y Æpino, en lugar de unir las superficies de las barritas con las de las planchuelas, es preciso que los extremos exteriores de aquellas estén elevados, de modo, que

ca-

cada barrita forme con la planchuela un ángulo de unos 60°: procediendo en lo demás como hemos indicado (54). Para el toque doble hay tambien otro método, que es de Mr. Michel. En el precedente las barritas están muy distantes por arriba, y por la parte inferior solo del grueso de un naipe, pero en el de Mr. Michel se tocan por arriba, y se separan por abaxo. Mr. Van-Swinden ha recurrido á la experiencia, para decidir qual de los dos métodos debe adaptarse; y en conseqüencia ha hallado, que, dando mas fuerza á la planchuela, el de Mr. Antheaume es, por consiguiente, preferible, procediendo en él con las precauciones correspondientes.

56 El mejor modo de emplear el toque doble es, segun Mr. Blondeau, el siguiente. Pónganse dos barritas imanadas, dos ó tres veces tan largas como la planchuela que se ha de tocar, y á lo ménos dos veces tan anchas como ella, en línea recta sobre una mesa, de modo que sus polos opuestos solo estén separados por un pedazo delgado de carton, de madera, ó de qualquier metal, excepto el fierro, que no sobresalga á las barritas, á lo ménos por encima. Colóquese la planchuela sobre estas barritas, de modo que su mitad corresponda á la separacion de éstas, y apoyando un poco, mué-

vase, segun la direccion de las superficies que se tocan, ácia una y otra parte, hasta que cada uno de sus extremos corresponda sucesivamente casi á la separacion; por cuya friccion, hecha diez ó doce veces sobre cada cara, la planchuela quedará imanada. Si se tienen quatro barritas, convendrá que durante la operacion estén dispuestas dos á dos, unas al lado de otras, como acabamos de decir para cada par, separadas por un listoncito de madera como en su caxa, y guarnecidas de contactos de fierro.

57 Ultimamente, qualquiera que sea el método que se use para imanar la planchuela, la atencion á las siguientes precauciones, que resultan de los principios de Mr. Van-Swinden, no podrá ménos de ser sumamente útil.

Es necesario elegir barritas, ó imánes artificiales, de la misma fuerza, á corta diferencia, y que sean mas anchas que la planchuela que se quiere imanar con ellas: poniéndolas sobre la planchuela, de modo, que el exceso del ancho sea igual por ambos lados, para procurar por este medio dar fuerzas iguales á las partes homologas de la planchuela. La presion al tiempo de mover las barritas debe conservarse siempre igual, y el movimiento tambien lo mas uniforme que se pueda. Cada parte

te de la planchuela debe tambien frotarse el mismo número de veces, y con iguales precauciones, observando la propia correspondencia con las dos caras de la planchuela. Es aún ventajoso, el frotar la planchuela diez veces, por exemplo, por una cara, despues diez veces por la opuesta, y sucesivamente diez veces por la primera &c.

Exâmen de la planchuela despues de imanada.

58 La planchuela ya tocada, como qualquier pedazo de fierro ó acero, debe considerarse como un verdadero imán dotado de las mismas propiedades, y de la facultad de comunicarlas á otro fierro. Pero aunque la planchuela se haya imanado por los mejores métodos, y con las mayores precauciones, es siempre necesario despues exâminarla escrupulosamente, sin cuya diligencia no podria tenerse certidumbre de la Aguja que se construye ó usa. Este exâmen debe abrazar la fuerza directiva de la Aguja, la relativa de sus dos polos, su número, y la situacion del centro magnético: todo lo qual es de la mayor conseqüencia, y exîge la repeticion de experiencias bien dirigidas y delicadas. Nosotros, sin embargo, para no alejarnos demasiado de nuestro principal objeto, solo dirémos algunas palabras sobre lo que nos parece mas indispensable en el asunto.

Uno

59 Uno de los requisitos mas indispensables para poder servirse acertadamente de las planchuelas imanadas, es el conocimiento de la posicion del centro magnético, y para esto puede usarse el siguiente método de Mr. Æpino que es muy simple. Espárzase alguna limadura de fierro fina sobre un cristal ó vidrio, que cubra la planchuela, y el centro de las curvas en que se disponga es el centro magnético.

60 Pero la planchuela puede tener muchos polos, que es una nulidad que suele encontrarse, tanto en los imánes naturales, como en los artificiales. Este inconveniente, que es de la mayor importancia, prevenir en la planchuela para las Agujas, debe ser uno de los puntos principales de su exâmen, el qual se hará facilmente por la experiencia antecedente; pues, esparcida la limadura de fierro sobre el cristal que cubre la planchuela, se conocerá, por las curvas en que se disponga, quantos centros magnéticos indica.

61 Por varias experiencias consta, que las oscilaciones de una misma planchuela puesta en libertad en iguales circunstancias, y apartada de su direccion natural á igual distancia del punto de reposo, son siempre de igual duracion; por donde varios respetables físicos juzgan de la intensidad mag-

magnética de las planchuelas por la duracion de las oscilaciones. Mr. Van-Swinden no es á la verdad del mismo dictamen; pero nosotros, á pesar de su autoridad, que en este punto debe ser de mucho peso, no podemos ménos de inclinarnos al partido opuesto, apoyados de Mr. Coulomb. Y, segun éste, se conocerá que la planchuela ha adquirido toda la virtud magnética posible, si suspendida horizontalmente continúa en hacer el mismo número de oscilaciones en el mismo tiempo, aunque se repita la operacion del toque, y empleen otros imánes.

De la suspension de la planchuela. 62 Pero aunque, no perdonando diligencia alguna, se haya conseguido una planchuela imanada de la bondad posible, es despues necesario procurar que el modo de aplicarla en la composicion de la Aguja, no se oponga á la perfeccion del instrumento. La planchuela debe suspenderse por algun medio tal, que dexándola libre no se oponga á la fuerza directiva para mantenerla en el meridiano, ó volverla á él quando se haya desviado. Con este objeto se han imaginado una gran variedad de suspensiones, pero la comunmente adoptada en la marina, consiste en una punta, ó *estilo,* fixado verticalmente sobre el qual queda en equilibrio la planchuela, á la que, pa-

ra este fin, se abre un taladro en que se intro- duce una especie de cono que se llama *chapitel*. Esta suspension es viciosa en dictamen de varios físicos, como el Doctor Knight y Mr. Van-Swinden, porque juzgan el taladro un gran inconveniente á las buenas propiedades de la planchuela; pero los principios de Mr. Coulomb, y las experiencias de Mr. Blondeau demuestran, que, quando el diámetro del agujero no excede la mitad del ancho de la planchuela, ésta mantiene sensiblemente la misma fuerza directiva que ántes del taladro. Por cuya razon, y por la comodidad de su uso para las Agujas marinas, podrá usarse de esta especie de suspension, contribuyendo siempre con todas las precauciones posibles al remedio de sus defectos.

63 La eleccion de las materias para el estílo y chapitel, deben ser de las primeras. El chapitel y todo el peso de la planchuela deberian descansar, si pudiera lograrse, sobre un solo punto; pero, además de la imposibilidad de conseguirlo con algunas de las materias conocidas, se ve, que en este caso hay que temer el doble inconveniente de que la punta del estílo agujeree el chapitel, ó se gaste con el roce del peso que sostiene. Si la naturaleza nos franquease cuerpos perfectamente duros, ó cu-

cuyas partes estuviesen unidas por una adherencia infinita, estos serían sin duda los que deberían elegirse para fabricar los estílos y chapiteles; pues entonces los estílos tendrían sus puntas infinitamente pequeñas, y las conservarían sin romperse ni penetrar en el interior de los chapiteles. Pero ya, que por no poseerlos de esta clase, resulta indispensable que la superficie del contacto sea bastante considerable, para que la coherencia de todas las partes que la forman pueda resistir sin rotura el peso que la oprime, podrán á lo ménos emplearse aquellos cuerpos cuyo grado de dureza esté ménos distante del que se necesita. Asi, todos los físicos prefieren para los chapiteles el vidrio ó agata como materias duras que admiten un pulido bastante perfecto, y la costumbre general está á favor de la última materia. De todos modos el chapitel, que se engasta en laton y une por un tornillo á la planchuela, debe ser un sólido de revolucion de forma cónica, hueco tanto interior como exteriormente, para que el punto de suspension sobre el estílo sea siempre el mismo y corresponda al vértice del conoide, y para que en todos movimientos y posiciones se halle el conjunto bien equilibrado.

64 El estílo debe ser de acero templado, cu-

ya dureza es superior á la de los demás metales; pues, aunque esto parece contra la regla general de no emplear en la composicion de la Aguja mas fierro ó acero que el de la planchuela, la experiencia demuestra, que el estílo de acero no altera el magnetismo ni la direccion de la planchuela, sin duda porque corresponde al medio de ésta. No obstante, si precisa que el estílo sea muy largo y grueso por su parte inferior, lo mas seguro será hacer de acero la punta únicamente. Tambien podrán hacerse los estílos de otro metal, como de plata ú oro, que por medio de la liga haya adquirido un grado de dureza competente, y en este caso se lograría que no estuviesen sugetos al moho. Pero de todos modos se ve bien, que la punta del estílo debe ser tan proporcionada á la forma del chapitel, que evitando los dos inconvenientes mencionados (63), el chapitel quede bien sentado sobre el estílo por su vértice interior, y por la menor superficie dable. Un estilo con una punta como la de una aguja algo servida será excelente para este uso.

65 La exâctitud de la supension la hace precisamente muy movible; pero, como al paso que la planchuela es mas movible, se aumenta el número de las oscilaciones ántes de pararse en el meri-

ridiano, esta movilidad podría llegar á grado de ser una desventaja en el uso de la Aguja, particularmente en la mar. Por esta razon, Mr. Van-Swinden, en su Memoria citada, repetidamente opina, que en la movilidad de la planchuela no debe propasarse un cierto término: y MM. Du-Hamel y Antheaume han hallado un modo extremamente simple de destruir aquel inconveniente, sin despojar á la Aguja de la menor parte de su verdadera movilidad. Para esto, no hay mas que encolar perpendicularmente debaxo de la rosa que se une á la planchuela (73) diversas alitas de papel, y éstas, sin cargarla, opondrán al aire una resistencia, que disminuirá mucho las oscilaciones.

66 Suspendida ya la planchuela, deberá exâminarse, si su direccion es segun la del verdadero meridiano magnético, esto es, segun la direccion en que se fixaría una línea recta perfectamente libre, en virtud de la fuerza general que dirige los cuerpos ó planchuelas imanadas. Como la direccion de la planchuela se refiere á un círculo horizontal, que debe tener su centro en el exe del estílo, la planchuela puede no indicar el verdadero meridiano magnético, esto es, el punto que señala los grados puede dexar de coincidir con el meridiano que pasa por el centro del movimiento,

por

por estas dos causas: 1.° porque el punto que señala los grados no esté en el exe: 2.° porque la planchuela misma se aparte del verdadero meridiano.

La verificacion de la primera causa no difiere de la que requieren todos los instrumentos en que se aplican reglas ó alidadas movibles sobre un centro, para señalar los grados de la circunferencia, y por consiguiente, no nos detendrémos en ella.

Para probar si influye la segunda causa, despejados ya los errores de la primera: trastórnese la planchuela haciendo inferior el plano que era superior ántes, teniendo cuidado de que en ambos casos se halle perfectamente horizontal, y véase, si sigue la misma direccion; pues, sino se advierte variedad, será seguro que la planchuela es perfecta.

Si se encuentra alguna diferencia, la mitad del ángulo formado por las dos direcciones, esto es, la direccion média, dará la del verdadero meridiano magnético; que de este modo puede averiguarse, aún con una planchuela imperfecta. Pero en este caso es necesario averiguar, si, despues de trastornada la planchuela, el centro del movimiento se conserva en el exe todavia, haciéndolo coincidir si no sucede, y tocando la planchuela de nuevo hasta conseguir la igualdad precisa. Esta opera-

racion podrá executarse, suspendiendo la planchuela con ilos, que sin torcerse la dexen seguir su natural direccion, ó con el chapitel, que, por consiguiente, convendrá que pueda entornillarse en la planchuela por una y otra cara.

Una Aguja compuesta de una planchuela, en que, verificada por estas pruebas, se haya señalado la línea que se dirige segun el meridiano magnético, podrá ser muy útil para comparar expeditamente qualquiera otra.

67 Como las superficies del estílo y chapitel pueden tener desigualdades que influyan en la precision de la Aguja, deberá tenerse un particular cuidado de que uno y otro sean bien exâctos. La habilidad del artista es el único recurso de donde puede esperarse esta perfeccion, pero, el observador podrá tambien averiguar sus defectos por diferentes medios, de los quales, el siguiente es uno. Tómese una reglita de madera muy ligera AB, guarnecida en C del chapitel que quiere probarse: y *Fig.* 11. póngase en un punto qualquiera de ella *g* una planchuela perfectamente imanada, y que siga la direccion del meridiano magnético ya conocido (66). Equilíbrese el todo bien horizontalmente, por medio de un contrapeso P, que pueda correr al largo de AB, y algun poco de arena, quando sea ne-

necesario. En esta disposicion: si el chapitel está perfectamente centrado y su exe vertical, el planito en que se tocan, el estílo y el fondo del chapitel será un pequeño círculo horizontal, y desvaneciendo el error que podia ocasionar la friccion, dando algunos golpes ligeros y rápidos sobre la mesa en que esté fixo el estílo, la direccion que tome la planchuela resultará únicamente de la fuerza magnética. Y como, en qualquiera posicion en que se halle, debe tomar la misma direccion del meridiano magnético, el ángulo que forme con esta direccion será el error procedente de los defectos del chapitel y estílo. Por lo qual, variando sus posiciones, de modo, que el meridiano magnético NS forme diferentes ángulos con la línea AB, se irán sucesivamente averiguando todas las imperfecciones del chapitel y estílo.

De la composicion de la Aguja. 68 Hasta ahora hemos hablado del estílo, suponiéndolo siempre fixo verticalmente, pero, sin decir el modo de conseguirlo en las Agujas, que deben ser instrumentos transportables. En las que se destinan para observar en tierra, basta fixar perpendicularmente el estílo en un plano, como el de una tabla, que pueda en todo tiempo hacerse horizontal, por un ni-

nivel ú otro medio; pero en las de mar és necesario, además, algun artificio, para que dicho plano quede siempre en la misma posicion, á pesar de los movimientos irregulares y variados de la nave. Con este fin, el estílo de la Aguja naútica se fixa en la oquedad de una caxa, llamada *mortero*, la qual se suspende al modo del velon de Cardano, dentro de otra caxa, en que queda libre para conservar su posicion, por medio de dos círculos concéntricos ó quadrados que giran sobre exes encontrados. En la figura 12, ABCD representa el mortero que, por medio de los dos cilindros E, F que penetran el círculo EGFH, puede girar libremente sobre EF como exe. Este mismo círculo puede tambien girar al rededor del diámetro GH perpendicular á EF, por medio de los dos cilindros G, H, entrantes en la caxa exterior; de modo, que el mortero puede disponerse segun conviene, rotando al mismo tiempo sobre EF y sobre GH.

69 No nos detendrémos en las reflexîones geométricas que podrían servir para toda especie de suspensiones á bordo, y aplicarse en particular á ésta, y solo notarémos, que, qualquiera que sea la que se use, el cuerpo que ha de mantenerse á plomo, nunca deberá colgarse por su centro de gravedad; pues, nadie ignora, que en este caso

el cuerpo queda indiferente á toda posicion. Y así, habiendo de situar el centro de gravedad inferior al suspensorio, conviene en el método anterior, que la interseccion de los dos diámetros esté en la direccion del exe del estílo, y en éste el centro de gravedad de toda la máquina.

70 Para contribuir á la solidez de la Aguja, el mortero debe ser de metal, y añadir un peso considerable al fondo, para disminuir su movilidad, y darle mas disposicion á conservar la situacion que se requiere. A este fin, convendrá tener varios pesos de muda, para entornillar los mayores quando haya mares gruesas; pues, aumentándose entonces las agitaciones de la nave, y con ellas las oscilaciones de la Aguja, es necesario tambien aumentar la friccion de los exes que las disminuyen.

71 Mr. Blondeau aconseja, para aquellas y todas las demás piezas de metal que componen la Aguja, una mezcla de diez y ocho partes de cobre bien puro ó *rosete*, y una parte de estaño fino. Pero de todos modos, á no tener mucha seguridad del metal, ántes de emplearlo deberá exâminarse, si contiene materias ferruginosas: y en caso de emplear alguna madera, como en la caxa exterior, se cuidará de que sea bien sólida y seca, y que las pie-

piezas queden bien ajustadas. Tambien se hecha de ver, que, para resguardar la planchuela de las impresiones del aire que podrían alterarla, la parte superior del mortero deberá cubrirse con un cristal ó vidrio, que esté libre de las irregularidades que impiden el ver los objetos en su verdadera posicion, y que, reflectando irregularmente los rayos de luz, ofuscan la vista de quien mira.

72 El estílo podrá estornillarse al fondo del mortero, pero, qualquiera que sea el modo de fixarlo, es preciso que pueda quitarse y ponerse quando se quiera, para exâminar y componer la punta. En el caso de que se halle alterado irregularmente, deberá enmendarse este defecto, gastándolo en una piedra, y cuidando de hacerlo con igualdad, para que quede la punta en la situacion debida.

73 En las bruxulas, que no han de servir en la mar, se pone un limbo dividido en grados y partes de grados, sobre el qual la planchuela señala la direccion que toma, pero, en las de mar, á este limbo se substituye la rosa. La rosa es un círculo de carton, ó, lo que es mejor para impedir las irregularidades de las arrugas, de talco forrado en papel. La planchuela y rosa se unen poniendo la segunda sobre la primera, atravesándola

el chapitel: por cuyo medio se consigue, que el fondo del chapitel quede superior al plano de la rosa, para contribuir á su estabilidad, y que el centro del movimiento, en el exe del estílo, coincida con el de la rosa. Al margen de la rosa se aplica algunas veces un círculo delgado de metal de tres ó quatro líneas de ancho, dividido en grados y partes de grado, y en este caso, la precaucion del talco es inutil, porque importa poco que la rosa se arrugue, quando la circunferencia, que contiene la parte esencial de las divisiones, no padece las mismas irregularidades. Despues de lo dicho parece ocioso añadir, que el peso de la rosa, como el del conjunto de todas las partes que apoyan sobre el estílo, deben adaptarse á la resistencia de la materia de éste y naturaleza de su punta.

74 La circunferencia de la rosa, que representa el horizonte á que es concéntrica, se divide en quatro quadrantes, por dos diámetros, de los quales uno coincide con el exe magnético de la planchuela. De estos quatro quadrantes, el comprehendido entre el extremo que mira al norte, y el del otro diámetro que cae al oriente, ó á la derecha del observador que se halla al sur del instrumento, se llama el primero: y sucesivamente segundo y tercero, hasta el quarto, que es el terminado por

los

los extremos del norte y occidente. Para distinguir á primera vista todos los puntos de la rosa, se pinta en el del norte una flor de lis, y en el del éste una cruz. Cada quadrante despues se divide en 90°, poniendo el cero ó principiando desde la línea norte sur, y acabando, por consiguiente, en los otros dos puntos cardinales del éste y oéste. Toda la circunferencia se divide, además, en treinta y dos partes, ó lo que es lo mismo, cada quadrante en ocho partes iguales, por diámetros que, principiando desde el norte ó sur ácia una y otra parte, forman sucesivamente ángulos de uno, dos, tres &c. octavos del quadrante. Estos ángulos, que se llaman *rumbos de la Aguja* y siguen el mismo orden que la division en grados, se llaman 1°, 2°, 3°, &c. y principian en los extremos norte ó sur, y concluyen en los del éste ú oéste. El rumbo medio de cada quadrante toma tambien el nombre de los extremos; y asi, el del 1.° se llama NE: el medio entre la mitad, y el extremo toma el nombre del extremo y mitad, como, por exemplo, Es Nord-Este: y los otros quatro toman el nombre de quartas del extremo á la mitad, ó de la mitad al extremo correspondiente, como Nord-Este ¼ al Norte el medio entre el Nord-Este y Nord-Nord-Este. En el uso de la Navegacion es necesario tener de memo-

moría el orden nombres y valores de estos rumbos, que generalmente se escriben solo con las letras iniciales, de este modo:

PRIMER QUADRANTE.

o........	N................	Norte............................	00	00.
1.º......	N ¼ N E......	Norte ¼ al Nord-Este...	11	15.
2.º......	N N E.........	Nord-Nord-Este..........	22	30.
3.º......	N E ¼ N......	Nord-Este ¼ al Norte...	33	45.
4.º......	N E.............	Nord-Este......................	45	00.
5.º......	N E ¼ E......	Nord-Este ¼ al Este.....	56	15.
6.º......	E N E.........	Es-Nord-Este................	67	30.
7.º......	E ¼ N E.......	Este ¼ al Nord-Este......	78	45.
8.º......	E................	Este..............................	90	00.

SEGUNDO QUADRANTE.

o........	S.................	Sur................................	00	00.
1.º......	S ¼ S E........	Sur ¼ al Su-Este..........	11	15.
2.º......	S S E...........	Sur-Su-Este..................	22	30.
3.º......	S E ¼ S........	Su-Este ¼ al Sur..........	33	45.
4.º......	S E..............	Su-Este.........................	45	00.
5.º......	S E ¼ E.......	Su-Este ¼ al Este.........	56	15.
6.º......	E S E..........	Es-Su-Este....................	67	30.
7.º......	E ¼ S E.......	Este ¼ al Su-Este.........	78	45.
8.º......	E................	Este...............................	90	00.

TERCER QUADRANTE.

o........	S.................	Sur................................	00	00.
1.º......	S ¼ S O........	Sur ¼ al Sud-Oeste.......	11	15.
2.º......	S S O..........	Sur-Sud-Oeste..............	22	30.

3.º

3.°......	S O $\frac{1}{4}$ S........	Sud-Oeste $\frac{1}{4}$ al Sur.......	33	45.
4.°......	S O.............	Sud-Oeste.....................	45	00.
5.°......	S O $\frac{1}{4}$ O.......	Sud-Oeste $\frac{1}{4}$ al Oeste...	56	15.
6.°......	O S O..........	Oes-Sud-Oeste............	67	30.
7.°......	O $\frac{1}{4}$ S O.......	Oeste $\frac{1}{4}$ al Sud-Oeste....	78	45.
8.°......	O...............	Oeste...........................	90	00.

QUARTO QUADRANTE.

0........	N................	Norte..........................	00	00.
1.°......	N $\frac{1}{4}$ N O.....	Norte $\frac{1}{4}$ al Nor-Oeste...	11	15.
2.°......	N N O.........	Nor-Nor-Oeste..........	22	30.
3.°......	N O $\frac{1}{4}$ N.....	Nor-Ooeste $\frac{1}{4}$ al Norte..	33	45.
4.°......	N O...........	Nor-Oeste..................	45	00.
5.°......	N O $\frac{1}{4}$ O.....	Nor-Oeste $\frac{1}{4}$ al Oeste....	56	15.
6.°......	O N O.........	Oes-Nor-Oeste............	67	30.
7.°......	O $\frac{1}{4}$ N O......	Oeste $\frac{1}{4}$ al Nor-Oeste....	78	45.
8.°......	O................	Oeste.........................	90	00.

Nociones particulares sobre la Aguja, y sus usos. 75 Presentada ya una nocion general de la Aguja, ántes de pasar á distinguir particularmente las que se usan en la mar, convendrá extendernos algo sobre la inclinacion y variacion magnética.

El primer fenómeno que se observa en la planchuela imanada es la inclinacion. Si se construye una planchuela, que ántes de tocada al imán se mantenga perfectamente en equilibrio, ó cuyo plano quede bien paralelo al horizonte sobre un estílo ó exe, luego que esté imanada perderá el nivel,

y

y se inclinará, en nuestro hemisferio ácia el polo boreal, y ácia el polo austral en el hemisferio meridional de nuestro globo. La cantidad de esta inclinacion es tanto mas considerable, quanto la planchuela se halla mas próxîma á los polos, y tanto menor quanto mas se acerca al equador; de modo, que en las cercanías de la equinocial, esto es en el equador magnético, la planchuela queda perfectamente horizontal. La inclinacion, además, varía en todos los lugares de la Tierra, en todos los tiempos del año, y en las diferentes horas del dia; y aún parece que las variaciones de esta inclinacion son mas considerables que las de la variacion (79), ó, para decirlo asi, como independientes la una de la otra.

76 Despues de percibir la inclinacion de las planchuelas imanadas, se ve, que no pudo tardarse en atribuir mucha parte de las desigualdades notadas en este fenómeno á la friccion de la suspension ó exe. En esta atencion, la Real Academia de las Ciencias de París juzgó digno asunto de exercitar el ingenio de los mejores físicos de la Europa, la construccion de Agujas propias para observar la inclinacion: lo que exîgia un medio, por el qual todas las Agujas diesen la misma inclinacion en el mismo lugar é instante. Mr. Daniel Bernoulli ganó el

el prémio propuesto para el que lo lograse, y en su memoria se hallan un gran número de excelentes reflexiones sobre este punto, de las quales resultan principalmente las siguientes reglas:

1.° *Debe cuidarse de que el exe sobre que gira la planchuela sea bien perpendicular á la longitud de ésta, y que pase exâctamente por su centro de gravedad.*

2.° *Que los pezones de este exe sean exâctamente redondos y pulidos, y del menor diámetro que permita el peso de la planchuela.*

3.° *Que el exe gire sobre dos tablitas, que estén en un mismo plano bien horizontal, muy duro, y muy pulido.*

77 Mr. Musschenbroek imaginó juntar en una misma Carta todas las observaciones de la inclinacion: Mr. Wilcke, en 1768, publicó en Suecia una Carta reducida, que comprehende los dos hemisferios hasta el mar Helado al norte, y hasta el cabo de Hornos al sur, para indicar las diversas inclinaciones de la Aguja: y Mr. Le Monnier, la ha insertado en las Memorias de la Academia, rectificándola en algunas partes. A la verdad, este parece el único camino por donde puede llegar á formarse una idéa de la accion del magnetismo en las diferentes partes de nuestro globo, y, en la actual escasez de buenas observaciones sobre el asun-

to, nada es mejor que arreglar las que tenemos. Verosimilmente, las observaciones muy numerosas y exâctas de la inclinacion podrán conducir algun dia, si no al descubrimiento de la causa física del magnetismo, á lo ménos al de sus fenómenos generales, y modo en que se particularizan: y, esta consideracion debe estimular á todos los que tomen interés en los adelantamientos de la física, á no perder ocasion de multiplicarlas. Las Agujas inventadas por Mr. Du Hamel, por Mr. Le Monnier (el médico), por Mr. Lorimer de Panzacola, y las que construye el célebre Eduardo Nairne, conforme al plan de Mr. Mitchell, son de artificios muy ingeniosos y propios para adquirir estos conocimientos. Pero, como la inclinacion es fenómeno de que, hasta ahora, no se ha sacado utilidad para la marina, nos contentarémos con lo dicho sobre él: añadiendo únicamente, que, por un principio de experiencia, conocido de todos los que han trabajado sobre el imán, una Aguja de inclinacion no da la verdadera elevacion del polo magnético, sino quando está exâctamente situada en el plano del meridiano magnético, ó, lo que viene á ser lo mismo, segun la línea de variacion de la planchuela.

78 En las Agujas que no se destinan á la observacion de la inclinacion se destruyen los efec-

tos de ésta, limando un poco la parte preponderante, poniendo un poco de lacre á la opuesta, ó, lo que es mejor, ciñendo la planchuela de un anillito de metal, que pueda correr hasta el parage que convenga para que quede nivelada.

79 El desvío de la direccion del meridiano es fenómeno de mucha mas importancia que el que acabamos de considerar para el Pilotage. Del mismo modo que los imánes naturales, qualquier imán artificial, puesto en libertad como la planchuela de la Aguja, generalmente se aparta de la verdadera línea norte-sur, y la cantidad de esta variacion, aunque bastante conforme en todas las Agujas bien construidas, es, como la inclinacion, diferente en todas las regiones del globo, y solo nula en lugares particulares. Con el tiempo, segun hemos dicho, tambien se altera en el mismo parage, y, aún en el término del mismo dia, la variacion experimenta ciertas vicisitudes cortas, que probablemente proceden de una causa única, modificada por el influxo de las estaciones y de la misma planchuela. La variacion es ya ácia uno, ya ácia otro lado del meridiano: y se distingue, llamándola *variacion oriental*, *ó nord-éste*, quando el polo boreal magnético cae al éste del verdadero norte, y *occidental*, *ó nor oéste* en el otro caso.

80 El conocimiento de la ley que siguen las variaciones era de una importancia demasiado patente, para que no se hubiese intentado descubrirla tiempo hace. El Dr. Halley es el primero que, á costa de muchos y grandes trabajos, publicó una Carta para representar el estado de la variacion en el año de 1700, trazando curvas por todos los puntos del globo en que sus cantidades eran iguales. MM. Mountaine, y Dodson han seguido el mismo exemplo con no ménos paciencia y celo, haciendo para el año de 1744, y despues para el de 1756 (1), lo que el Dr. Halley para el de 1700, y

(1) Las Tablas presentadas en 1757 á la sociedad de Londres por MM. Mountaine y Dodson, que contienen los resultados de mas de cincuenta mil observaciones, repartidas para indicar el estado de la variacion en seis diferentes épocas, desde el año de 1700 hasta el de 1756, ambos inclusives, manifiestan algunas singularidades en este fenómeno, que merecen considerarse. En el equador y en la longitud 40.° E de Lóndres, la mayor variacion, durante los 56 años, fué $17^\circ \frac{1}{4}$ O, y la menor $16\frac{1}{2}$ O: y en la latitud de 15° N, y longitud 60° O de Lóndres, la variacion se mantuvo constantemente de 5° E. Al contrario, en la latitud de 10° S y longitud de 60° E de Lóndres, la variacion fué disminuyendo desde 17° O, á $7^\circ \frac{1}{4}$ O: en la latitud 10° S y longitud 5° O de Lóndres, aumentó desde $2^\circ \frac{1}{4}$ O hasta $12^\circ \frac{3}{4}$ O: y en la latitud 15° N longitud 20° O, tambien aumentó desde 1° O hasta 9° O.

Pe-

y aún acabando las curvas magnéticas en toda la redondez del globo: lo que Halley no pudo, por falta de observaciones. Y otros físicos han dirigido sus taréas al mismo objeto, retocando las curvas de algunas regiones, segun las observaciones que han adquirido, ó uniendo en la misma carta las curvas de variacion en diferentes épocas. Por otra parte, el mismo Halley se propuso explicar la teórica de las variaciones, por quatro polos magnéticos, dos fixos y dos movibles, y Mr. Euler, reduciendo á dos los polos, ha conseguido deducir, con bastante exâctitud y por una teórica tan sublime como curiosa, las curvas observadas. Pero todas estas tentativas, que podrán conducir con el tiempo á descubrimientos importantes, y que siempre hacen honor á sus autores, no han sido suficientes para atinar con la ley de las variaciones, y

á

Pero, aún mas extraordinario es el caso en los mares orientales. En el equador, por exemplo, á 40° de longitud E, la variacion en 1700 y 1756 fue la misma, y de 16 ¾ O, y en la primer época, la variacion occidental parecia disminuir regularmente, desde la longitud de 50° E á la de 100° E. Pero, en 1756 se halla la variacion disminuyendo con tanta rapidez, que ya se encuentra variacion oriental en la longitud de 80°, 85°, y 90° E: no obstante lo qual, en la longitud de 95° y 100° E, volvemos á tener variacion oéste.

á la verdad, comparando todos los elementos, podría creerse que no la hay constante [1].

81 En la imposibilidad en que, por la ignorancia de esta ley del magnetismo, nos hallamos de asignar la variacion que convendrá á un tiempo y lugar determinado, no queda otro recurso, para servirse utilmente de la Aguja, que averiguarla de tiempo en tiempo. Esto es mas necesario navegando, porque en este caso se complican las dos desigualdades procedentes de las diferencias de tiempo y de lugar; y, por consiguiente, siempre convendrá repetir las verificaciones, conforme, por ellas mismas ó por las experiencias anteriores, se conozca que la variacion muda rápida ó irregularmente. Parece probable, que estas alteraciones son ménos irregulares en la mar, que en tierra, porque, verosimilmente, las causas locales tienen aquí mayor influxo; pero, el uso de la Aguja continúa siempre envuelto en la necesidad de buscar un medio para determinar las correcciones que deben aplicársele, esto es, el ángulo que en el instante propuesto forma la direccion de la planchuela con el

(1) Veanse las observaciones citadas en la Memoria de Mr. Van-Swinden, cuyas comparaciones demuestran, que los progresos de las variaciones son irregulares.

el meridiano del lugar. En tierra, esta averiguacion es muy facil, porque lo es el trazar una meridiana, ó determinar la posicion de qualquiera objeto fixo á que comparar la Aguja; pero, en una embarcacion, donde solo se conoce la posicion del polo por la misma Aguja, es necesario recurrir para este fin á las observaciones de los astros. En efecto, sabiendo, por el cálculo astronómico, el punto del horizonte á que realmente corresponde el vertical de un astro, esto es su amplitud ó azimut, y teniendo modo de ver el punto de la rosa á que corresponde tambien al mismo tiempo, es claro, que, la diferencia del primer resultado con el de la observacion manifestará la variacion de la Aguja. Así, como, sin el exâcto conocimiento de la variacion, el uso de la Aguja sería sumamente peligroso ó nulo, uno de los primeros cuidados del Piloto debe ser el de procurarse una Aguja construida con la delicadeza necesaria para las observaciones de los astros.

82 Las Agujas que se destinan á este objeto pueden apropiarse, solamente para las observaciones de la amplitud, ó para éstas y las de azimut. Las primeras son las que los Pilotos generalmente prefieren, porque, aumentando casi nada el aparato de la máquina para la observacion, tambien ofre-

ofrecen la ventaja de tener el cálculo ya hecho en las tablas construidas por los Astrónomos, para facilitar las operaciones de esta especie. La verdadera ventaja se halla casualmente unida á la comodidad, y favorece la continuacion del uso en este caso; pero, ántes de considerar el fundamento de esta preferencia, será bueno dar una idéa del modo de observar las amplitudes.

83 Como el astro, para esto, se supone en el horizonte, el observar su amplitud se reduce á una operacion igual á la que se executa, para saber el ángulo que forma con el meridiano la direccion tirada por el centro de la rosa á un objeto terrestre. Este ángulo es lo que los Pilotos llaman *marcacion*, como la práctica de observarlo *marcar*, y, por consiguiente, *Aguja de marcar* la que les sirve en estas operaciones. La Aguja de marcar tiene dos pínulas, cuya línea visual pasa exâctamente por la vertical, conducida por el centro de la rosa. Mientras un observador enfila el objeto con las pínulas, es necesario que otro vea el punto de la rosa á que corresponde la visual señalada, ó diámetro paralelo; pero, como en tal caso los dos observadores se embarazarian mutuamente, en la Aguja ó rosa se señala una línea perpendicular á la que une las dos pínulas, y el segundo obser-

servador, entonces, mira qual es la posicion de esta línea respecto á la norte-sur. El ángulo de esta línea es evidentemente igual al que mide la distancia del objeto á la línea éste-oéste de la Aguja; y, por consiguiente, si el observado es algun astro en el horizonte, no tiene duda que su amplitud será igual al ángulo determinado de aquel modo.

84 Para observar el Sol, la pínula ocular debe tener un vidrio de color ú obscuro, que, engastado en una abrazadera, pueda correr por todo el largo de la pínula, y fixarse por su friccion donde convenga. La pínula objetiva debe estar dividida en todo su largo por un hilo muy delgado, como se acostumbra. Ambas pínulas pueden fixarse en una alidada movible al rededor del centro de la Aguja, y hacerse de quita y pon, ó capaces de doblarse sobre el cristal del mortero; pero de qualquier modo es de la mayor importancia cuidar, que el plano, determinado por la abertura de la ocular y el hilo de la objetiva, pase precisamente por el centro de la rosa.

85 La Aguja de marcar se apropia para observar el azimut, haciendo las dos pínulas, ó una sola, como de seis pulgadas de alto: y tendiendo un hilo por los extremos superiores de ambas, ó por el extremo superior de una al inferior de la

otra, cuya sombra, pasando por el centro de la rosa, determina el azimut del sol en qualquier caso.

86 La fig. 13 manifiesta una de estas Agujas en perspectiva. Mr. Leveque, además de aquel, hace colocar otros hilos en una disposicion que nos parece ventajosa. Primeramente, por quatro líneas negras divide la superficie interior del mortero, pintado de blanco, en quatro partes perfectamente iguales: y, poniendo despues debaxo del cristal dos hilos paralelos á las líneas señaladas en su superficie por los primeros, y otro desde la parte superior de la pínula ocular á la inferior de la pínula objetiva, resultan quatro hilos en un mismo plano vertical; y, situando las pínulas en el del Sol, todos los puntos producen sobre la rosa una sola sombra, pasando por su centro.

87 La perfeccion de la Aguja exîge que las pínulas y todos estos hilos estén bien centrados: lo que se conocerá facilmente, notando si sus dos extremos corresponden á grados ó puntos diametralmente opuestos de la circunferencia. El uso de la Aguja será tambien mas facil y exâcto, á proporcion que el diámetro de la rosa sea mas crecido; porque, aumentando la magnitud de las divisiones, disminuye la incertidumbre y el peligro de cometer equivocaciones al fixarse en la que conviene. El

diá-

diámetro de las que se emplean para la direccion del viage generalmente no exceden siete á ocho pulgadas, porque, mayores serían demasiado embarazosas para colocar dos Agujas á corta distancia, como se acostumbra. Pero, siendo esta disposicion viciosa, y necesario, como indicarémos en adelante, reducirse á una sola Aguja, este pretexto cesa, y no hay razon que obligue á perder la gran ventaja de usar Agujas grandes.

En las de marcar y azimutales es otro inconveniente el tener que mover toda la máquina, para buscar el objeto con la pínula, porque de la friccion de la tabla inferior resultan movimientos irregulares que agitan la rosa, y pueden acarrear errores considerables en los puntos á que se refieran las enfilaciones. Y esto se evita, haciendo girar la caxa exterior sobre un cilindro ó exe vertical, que descansa en otra tabla fixa: ó, apoyando los exes del círculo exterior que sostiene el mortero en otro arco vertical, en que queda suspendida toda la máquina, la qual, por su medio, puede girar libremente sobre un exe vertical dentro de la caxa. Los artistas pueden variar esta disposicion, atendiendo al costo y otras circunstancias, pero siempre deberán cuidar de que el movimiento de la máquina sea lo mas facil y uniforme que se pueda.

88 Para distinguir las divisiones menores del grado, tambien se aplica á la Aguja el vernier ó nonio. Lo mas comun es ponerlo dentro del mortero y debaxo de las pínulas, en una pieza que, por medio de un boton saliente al exterior, se hace tocar, quando conviene, al margen de la rosa. Por este medio, tambien se consigue evitar la concurrencia de dos observadores, que, si no son muy prácticos, pueden producir errores, por no fixarse en el mismo instante; pues, hallándose apoyada en el centro y en el punto del contacto, la rosa queda inmóvil, quando quiere el observador que hace la enfilacion: y, executada ésta, puede vér despues el grado á que corresponde. Esta costumbre tiene contra sí el peligro de echar á perder la punta del estílo, y desarreglar su posicion en el mortero; pero, como por otra parte es ventajosa, podrá adoptarse, sin inconveniente, con tal que se exâmine con freqüencia el chapitel y estílo, para reparar los efectos perjudiciales.

89 Mr. Fleurieux propone una nueva Aguja, que no padece aquellos defectos; porque, diferenciándose, principalmente, en tener las pínulas afianzadas á una alidada movible al rededor del centro, el vernier al extremo de ésta indica las partes menores en una circunferencia graduada. Pero

las

las miras de aquel celoso oficial se dirigian á evitar los inconvenientes de las Agujas azimutales, y unir en una nueva construccion sus utilidades y las de los instrumentos comunes. En efecto: el uso de la sombra supone que el plano que la recibe sea perfectamente paralelo al horizonte, y, si en los movimientos de la rosa, se toma, para conseguirlo, un medio aproxîmado entre los extremos del balance y cabezada, no es disimulable, que podrán cometerse en las observaciones errores muy considerables. Estos errores proceden de la dificultad de establecer en la mar un plano vertical, y Mr. Bouguer (en la Memoria premiada en 1731 por la Academia de las Ciencias, sobre el mejor método de observar en la mar la variacion de la Aguja), demuestra sabiamente: *que el error, en tal caso, es sensiblemente igual al producto de la inclinacion de dicho plano al vertical y de la tangente de la altura del astro, dividido por el seno total*; de donde deduce, que en una inclinacion de 4°, y estando el astro elevado de 60°, la equivocacion será de cerca de 7°. Por esta razon, no podemos ménos de opinar, que la observacion del azimut en la mar comunmente no merece confianza, y que, en esta parte, la Aguja azimutal es un instrumento, si no inútil, como pronuncia Mr. Fleurieux*, á lo mé-

ménos de un uso muy precario y que exíge la mayor circunspeccion, para no cometer gravisimos errores. Esto no estorva que, quando la mar llana lo permita, ó la poca pureza del cielo en el horizonte impida vér los astros quando salen ó se ponen, se averigue la variacion por este medio; pero, en general, será mucho mas útil emplear la amplitud, observándola con una Aguja construida con las posibles precauciones.

90 Considerando la suspension de Cardano, se percibe igualmente, que, qualquiera accion que ocasione algun movimiento en la máquina no podrá ménos de reducirse muy breve al simple de rotacion sobre el exe fixo, que apoya en la caxa exterior. La experiencia, en efecto, confirma este raciocinio, y manifiesta, que, situando las pínulas en direccion perpendicular á dicho exe, pasadas las primeras agitaciones, la línea de las pínulas oscila, sin salir de un plano perpendicular al mismo exe; y que, por consiguiente, en este caso, la enfilacion dará el exâcto azimut magnético, quando las pínulas, en otra posicion, producirían yerros considerables. Esta atencion, que nos parece no solo importante sino necesaria, para la buena disposicion de la Aguja, se echa de ménos en el instrumento de Mr. Fleurieux y en muchos de los azimutales co-

comunes; pues, teniendo las pínulas movibles, la direccion de éstas se encuentra con freqüencia, ó casi siempre, en situaciones contrarias respecto al plano de la rosa.

Otra objecion podría oponerse á la construccion de Mr. Fleurieux y demás semejantes, que, aunque no de tanto momento, no nos parece despreciable. La accion necesaria para mover la alidada dificilmente puede dirigirse paralelamente al plano del instrumento; y, aunque se consiguiese, los obstáculos de la friccion harían, que, descomponiéndose, resultáse siempre alguna agitacion en el mortero, que alteraría la posicion horizontal de la rosa, al mismo tiempo de observar con ella.

91 Para evitar, pues, estos inconvenientes, y convinar en lo posible todas las buenas propiedades de la Aguja, estas son nuestras idéas:

La rosa, de toda la magnitud posible, deberá tener la circunferencia guarnecida de una hoja sutíl y estrecha de laton, y, en ella, la graduacion correspondiente (73). A esta graduacion podrá tambien adaptarse el vernier de resorte, con el boton necesario para fixar la rosa quando convenga. Las pínulas deberán situarse en los dos extremos del diámetro perpendicular al exe fixo: de modo, que su direccion y el diámetro tirado por el cero del ver-

vernier coincidan. Y toda la máquina deberá girar suavemente sobre un exe vertical, por un artificio sólido qualquiera.

92 Habiéndonos explayado lo que nos parece suficiente sobre las Agujas propias para observar la variacion, solo nos queda que añadir algo sobre las que sirven para la direccion de la nave. Los artistas suelen poner mucho cuidado en la construccion de las primeras, desatendiendo la de las últimas, pero, sin razon que haga oportuna esta diferencia. El conocimiento de la variacion es de suma importancia, para saber, por la Aguja, el preciso punto del horizonte á que mira qualquier rumbo de la rosa; pero, si aquella correccion se aplica despues á una Aguja inexâcta ¿ nó es claro, que la direccion adoptada como verdadera no será la que realmente sigue la nave ? Como la verdadera posicion del buque en el horizonte se halla por una operacion doble, la exâctitud del resultado supone la continua conformidad entre la Aguja empleada, para averiguar lo que el meridiano magnético difiere del verdadero, y la que manifiesta la direccion de la quilla respecto á la planchuela : lo que solo puede conseguirse, en lo posible, no perdonando precaucion en la construccion de ambas Agujas, y aún en este caso, es preferible el obser-

var

var la variacion, con la misma Aguja que dirige. La absoluta conformidad ciertamente no puede exîgirse, porque muchos físicos han hallado, que varias Agujas construidas con cuidado, y por excelentes artistas, unas veces tienen la misma variacion, y otras difieren de algunos minutos; pero estas diferencias aumentan asombrosamente en las Agujas mal construidas, y el recelo de sus complicaciones con otros errores debe ser un grande estímulo, para no perdonar diligencia que contribuya á disminuir su cúmulo.

93 La primera que se halla precisa, para usar la Aguja, consiste en averiguar, qué diámetro de la rosa es actualmente paralelo á la quilla. A este fin la caxa exterior (que debe ser perfectamente quadrada, y tener dos de sus lados paralelos á las líneas señaladas en el interior del mortero, cuyos planos pasan por el centro de la rosa (86)), se coloca en un armario, que llaman *bitácora*, construido de firme delante de la rueda del timon: de modo, que, coincidiendo uno de aquellos lados, ó siendo paralelo á una de las dimensiones del receptáculo dispuesto á este proposito, se sabe que el diámetro dirigido segun la línea del mortero es tambien paralelo á la quilla. Esto, como se ve, supone, que el lado referido del receptáculo sea exâc-

tamente paralelo á la quilla, pero como qualquiera falta de precision en este punto puede acarrear errores nada despreciables, segun es facil ver por la resolucion de un triángulo, y que la situacion del armario, por mas sólida que sea, puede desarreglarse, no estará de mas averiguar su posicion de tiempo en tiempo, comparándola con una línea señalada para siempre, ó por la que puede tirarse sobre la cubierta del alcazar, por los centros de los polos.

94 Con aquella precaucion, que es facil, podrá saberse la posicion relativa de la planchuela y de las dimensiones de la nave, pero en el modo comun de servirse de ellas, subsistirá una causa, que puede alterar considerablemente la misma direcion de las Agujas. Por el temor de que la Aguja se quede parada, se ponen dos en la misma bitácora, como á pié y medio de distancia, pero esta disposicion, con que se pretende verificar las direcciones de ambas planchuelas, solo sirve para perturvarlas mutuamente, haciendo erronea la Aguja que sola sería exâcta. Mr. d' Après de Mannevillete, habiendo hallado por experiencias hechas con excelentes Agujas, que la accion recíproca de las planchuelas se extiende hasta la distancia de catorce pies, escribió á la Academia de Marina de Brest, pro-

po-

poniendo no poner mas de una Aguja en cada bitácora. La Academia nombró á Mr. Blondeau con otros dos comisarios, para exâminar el asunto, y de sus repetidas experiencias resulta: *Que, para continuar el uso de colocar dos Agujas en la misma bitácora, es necesario poner entre sus centros, á lo ménos tres pies y medio de distancia, mientras las Agujas no sean mas perfectas que las mejores que ordinariamente se fabrican en los puertos de Francia, y mas al paso que su perfeccion se aumente, á lo ménos, en quanto al magnetismo y movilidad de las planchuelas.* No obstante, siendo muy probable, que la extension de la esfera de actividad de los cuerpos magnéticos varía, segun los lugares de la Tierra en que se hallan, y aún en el mismo lugar segun los diferentes tiempos, lo mejor será libertarse de todo riesgo, dexando una sola Aguja delante de la rueda del timon, en un receptáculo muy sólido, y colocando la otra en el alcazar, para gobierno del oficial de guardia. Por este medio, que se ha propuesto muchas veces sin poder prevalecer á la fuerza de la costumbre, se lograria, no solo ocurrir al gran inconveniente de la discrepancia de las Agujas, sino evitar las equivocaciones que resultan de saber el oficial por la voz el rumbo que se hace, y no poder muchas veces averiguar quando el timonel

dexa de obedecerlo, hasta que los mismos yerros se lo manifiestan.

95 Despues del artículo anterior y de lo dicho sobre el magnetismo, parece ocioso apoyar aún sobre la necesidad de alejar de las cercanías de la Aguja todo fierro acero ó cuerpo que contenga este metal en cantidad sensible. La importancia de la escrupulosidad en la observancia de esta regla nos fuerza, sin embargo, á recomendarla vivamente, advirtiendo á los poco inteligentes, que no, por interponer otros cuerpos entre el fierro y la Aguja, se evitan las alteraciones de ésta; pues, al contrario, es cosa demostrada por las experiencias, que el imán actúa á traves de todos los cuerpos, á excepcion del mismo imán y del fierro, y aún sin diminucion sensible de su efecto. Por esta razon, el parage en que se sitúe una Aguja deberá elegirse, á la mayor distancia posible de todo fierro: siendo costumbre muy viciosa, conducir las Agujas á las regalas de los costados, para hacer las marcaciones, quando enmedio del buque se hallarían mas lejos de los candeleros, cañones &c. Estas grandes masas pueden producir alteraciones considerables en la direccion de la planchuela: y así, sería de desear, como indica Mr. Fleurieux, que los cañones del alcazar, y particularmente los próxi-

xîmos á las Agujas de bitácora, fuesen de una materia que no contuviese fierro.

96 A aquella precaucion sobre el manejo de las Agujas, añadirémos otras, que no son ménos precisas.

97 Los Pilotos, quando quieren desmontar la rosa ó reponerla sobre el estílo, tienen la costumbre de sacudir la caxa, para hacerla saltar dentro del mortero, hasta que, á costa de un solo movimiento en el primer caso, pero siempre de muchos en el segundo, logran lo que pretenden. Esto acarrea el gran peligro de gastar ó torcer el estílo, y desfigurar el chapitel, de donde, tambien puede resultar, que se altere el mismo magnetismo de la planchuela. A fin de evitar, pues, estas malas conseqüencias, convendrá construir el mortero aproposito para abrirlo facilmente, y poder en todo caso registrar su interior ó hacer las operaciones necesarias con el estílo y rosa.

98 Los Pilotos tambien suelen quitar la planchuela de encima del estílo en las Agujas de que no se sirven actualmente, para evitar que la punta se gaste ó agujeree el chapitel con las continuas agitaciones á que están sujetas en una embarcacion á la vela. Pero como esta diligencia, aún suponiendo que se tomen todas las precauciones ne-

necesarias, padece el grande inconveniente de que, en los diferentes rumbos del viage, la Aguja se halle con freqüencia en direcciones propias á alterar su magnetismo, parece mas acertado dexar siempre la planchuela montada sobre su estílo.

99 Entre las muchas causas que alteran el magnetismo de las Agujas, la aurora boreal es una de las mas bien demostradas por la conformidad de las observaciones. La planchuela imanada se agita considerablemente, no solo mientras es visible, sino aún algun tiempo ántes y despues de la aparicion de aquel meteoro; pero esta variacion, como todas las demás del imán, es inconstante, y asi, algunas veces y en algunos lugares no se verifica, quando en otras ocasiones excede 1° y aún llega á 4°, como Mr. Van-Swinden ha observado. Sea como fuere, no pudiendo averiguarse en la mar con la certidumbre necesaria la parte de la variacion que en este caso procede de aquel fenómeno, será muy conveniente no practicar mientras dure observaciones importantes con la Aguja, ni emplear en el resto del dia, para corregir sus indicaciones, la variacion observada en el mismo interválo.

100 Las observaciones igualmente acreditan, que la electriccidad agita y altera algunas veces el magnetismo de las planchuelas, y esto, sea la elec-

tric-

tríccidad de la atmósfera que puede circundar la Aguja en tiempos tempestuosos, como por exemplo, quando el rayo pasa cerca de ella, sea la electriccidad del mismo vidrio que cubre el mortero. Quando el vidrio está caliente, qualquiera friccion lo hace eléctrico, y algunos desarreglos experimentados en la planchuela no pueden dexar de atribuirse á estos efectos. Por lo qual, para no recelarlos, parece precaucion importante, no exponer las Agujas mucho tiempo á los rayos del Sol ó al viento.

101 En ciertos parages del globo parece tambien que reside alguna causa desconocida, que destruye, suspende, ó altera considerablemente el magnetismo de las planchuelas. Por exemplo: al sur de las islas de Ferroe, se dice que hay una roca sobre la qual las planchuelas imanadas pierden su virtud, y que no la recobran, sino tocándolas de nuevo. El Capitan Ellis en su viage á la bahia de Hudson tambien nos dice, que, hallándose un dia cercado de mucho hielo, sus planchuelas imanadas perdieron enteramente la virtud directiva, en tal grado, que, mientras una seguia una cierta direccion, otra la indicaba del todo diferente, no continuando tampoco la misma mucho tiempo. Dicho Capitan, procurando remediar este accidente con un imán artificial, vió que perdian en un momento la virtud

ad-

adquirida por este medio, y, despues de varios ensayos, quedó convencido de que el desarreglo de las planchuelas no podia corregirse con el toque del imán. Habiéndolas colocado, por último, en un lugar caliente, las planchuelas recobraron efectivamente su actividad, y volvieron á dirigirse como ántes: de donde Mr. Ellis concluye, que el excesivo frio causado por las montañas de hielo, de que estaba rodeado, cerrando mucho los poros de la planchuela, impedian el pasage á las corrientes de la materia magnética. Por esta explicacion, pareceria probable, que el mucho frio destruye, ó á lo ménos suspende la virtud directiva de la Aguja; pero, el hecho no es constante en todas las regiones heladas, y, aún en el mismo lugar, en el año de 1769, Mr. Wales, y Dymond no pudieron restituir á una planchuela el magnetismo que perdieron en iguales circunstancias.

102 De todos modos, las experiencias no dexan duda sobre el grande influxo de las causas locales en las planchuelas imanadas: influxo que, navegando, suele experimentarse al aproxîmarse á las tierras, y que, probablemente, es la causa del fenómeno anterior, que, segun las observaciones del Capitan Midleton, no se verifica á 100 leguas de la costa. Varias causas accidentales pueden tambien

com-

complicarse con aquellas, para alterar el magnetismo de las planchuelas, y de éstas, unas ya se han sospechado, y otras solo se conocerán con el tiempo; pero sean las que fueren, basta que deban recelarse sus efectos, para que, luego que se note algun desarreglo considerable, se desconfie de la Aguja, hasta haberla distinguido ó remediado.

103 Siendo muchas las causas que, destruyendo ó alterando el magnetismo de las planchuelas, pueden hacer necesario que se retoquen, en todas las embarcaciones deberán llevarse barritas magnéticas, y en su defecto, será muy conveniente saber hacer imánes artificiales, sin el auxîlio de la piedra imán. Esto se consigue por varios procedimientos, pero aqui solo extractarémos el que prescribe Mr. Juan Canton en las Transacciones filosóficas del año de 1751, con el qual pretende se logran imánes artificiales muy superiores á qualquiera natural.

Tómense doce barras: seis de acero sin temple, y cada una de tres pulgadas (medida inglesa) de largo, $\frac{1}{4}$ de pulgada de ancho, y $\frac{1}{20}$ de pulgada de grueso, con dos piezas de fierro, cada una de la mitad del largo de las barras pero del mismo ancho y grueso: y seis de acero templado, cada una de cinco pulgadas y media de largo, media pul-

gada de ancho, y $\frac{3}{20}$ de pulgada de grueso, con dos piezas de fierro de la mitad del largo pero de todo el ancho y grueso de una de las barras templadas. Y márquense todas las barras con una línea al rededor en un extremo.

Tómense despues un espetón y unas tenazas de fierro (ó dos barras de fierro), que convendrá sean largas y hayan servido mucho tiempo: y, fixando el espetón derecho entre las rodillas, átesele con un hilo de seda (que se tendrá torcido con la mano izquierda, para que no se deslice), una de las barras de acero sin temple, con el extremo marcado ácia abaxo. En esta disposicion, tomando las tenazas con la mano derecha y manteniéndolas casi verticales, frótese la barra con el extremo inferior de abaxo para arriba, unas diez veces por cada lado: lo que le comunicará bastante fuerza magnética para suspender una llavecita por el extremo marcado. Este extremo, estando la barra libre, se dirigiria ácia el norte, y por esta razon, le llamarémos el polo del norte y el opuesto el del sur.

Habiendo impregnado del mismo modo quatro de las barras sin temple, pónganse las otras dos recíprocamente paralelas á la distancia de cerca de un quarto de pulgada, entre las dos piezas de fierro que las corresponden, con un polo N, y otro S, con-

contra cada pieza de fierro. Hecho esto, tómense dos de las quatro barras ya magnéticas, y júntense para formar una barra de doble espesor, con el polo S de una ácia el N de la otra; y, ajustadas á ésta las otras dos barras una á cada lado, de modo, que queden dos polos S y dos N juntos, sepárense los polos N, de los polos S, de un extremo con un alfiler grande. Con este extremo ácia abaxo, colóquense asi perpendicularmente sobre el medio de una de las barras paralelas, con los polos N ácia el S de ésta, y los polos S ácia el N: y muévanse ácia una y otra parte, frotando tres ó quatro veces toda la longitud de la barra. Hágase con la otra horizontal lo mismo, y, volviendo las dos barras de arriba para abaxo, repítanse las mismas operaciones. Executado esto, quítense las dos de entre las piezas de fierro, y, colocando las dos exteriores de la barra compuesta en su lugar, fórmese otra semejante, haciendo exteriores las otras dos barras: y, repetido este procedimiento, hasta que cada par de barras se haya tocado quatro ó cinco veces (con lo que adquirirán bastante fuerza magnética), dispónganse las seis barras juntas como las quatro ántes, y tóquense con ellas dos pares de barras templadas, situadas entre sus piezas de fierro á la distancia de una media pulgada.

Déxense despues las barras sin temple, y con las quatro templadas imprégnense las otras dos, teniéndolas aquellas separadas por el extremo inferior de cerca de dos décimos de pulgada, en cuya disposicion se han de poner despues de colocadas sobre la barra paralela, juntándolas otra vez ántes de quitarlas. Con este cuidado, prosígase segun el método descripto arriba, hasta que cada par se haya tocado dos ó tres veces.

Pero como este método de tocar la barra verticalmente no la dará toda la virtud magnética que puede admitir, tóquese despues cada par una ó dos veces, en su posicion paralela entre las piezas de fierro, con otras dos barras exâcta ó próxîmamente horizontales. En esta operacion, el N de una de éstas debe moverse del medio al extremo S, y el S de la otra del medio al extremo N de la barra paralela: reponiéndolas en el medio sin tocarla, y repitiendo la friccion tres ó quatro veces en cada lado. El toque horizontal, despues del vertical, dará á las barras toda la fuerza que parecen capaces de admitir; como lo prueba el no aumentarse, quando el toque horizontal se hace con mayor número de barras, y el horizontal con superior fuerza magnética.

Todo este procedimiento puede executarse en me-

media hora, poco mas ó ménos, y las barras impregnadas por él comunicarán á otra barra templada de la misma magnitud la virtud posible en ménos de dos minutos.

Para conservar las barras, no hay mas que ponerlas juntas en una caxa, entre sus fierros ó conductores y con los polos alternativamente, de modo, que no estén adyacentes dos del mismo nombre. Y si la experiencia manifestáse alguna disminucion en su virtud, será facil restituirsela repitiendo las últimas operaciones.

104 Despues de lo dicho sobre el magnetismo, parecería impròpio abandonar este asunto, sin decir alguna cosa de su causa.

La causa del magnetismo es tal que se substrae á la debilidad de nuestros órganos, y esta sola circunstancia manifiesta desde luego, quán dificil es adquirir una idéa de ella, por donde puedan explicar y demostrarse satisfactoriamente todos sus efectos. La disposicion que toma la limadura de fierro al rededor del imán ha hecho admitir á la mayor parte de los físicos una materia ó fluido magnético, que, como un torbellino sale fuera de la Tierra por algun lugar cerca del polo, y esparciéndose por todas partes describiendo líneas curvas, entra en lo interior de la Tierra por otro lugar

gar próximo ál polo opuesto, para salir despues por el primero, y continuar circulando como ántes. A cada imán, sea natural, sea artificial, acompaña un torbellino semejante, cuya revolucion se hace igualmente, entrando por un polo y saliendo por el otro. Y se supone, que este fluido invisible, que no exerce accion alguna en los demás cuerpos, debe su imperio sobre el fierro á la particular disposicion de este metal.

Las observaciones de los fenómenos magnéticos no pudieron tardar en oponer sucesivas dificultades á este primer sistéma general; pero, aunque ménos simple, nunca ha dexado de sostenerse, á costa de complicarlo con nuevas hipótesis: ya imaginando varios torbellinos ó polos magnéticos, ya poniendo un imán en el centro de la Tierra con cierto movimiento, ya recurriendo á la atraccion por varios modos, ya haciendo de la atmófera solar el fluido magnético que reemplaza el que pierde la Tierra. Pero aunque las tres Memorias de Mr. Euler, Mr. Du Tour, y MM. Daniel y Juan Bernoulli, que ganaron en 1746 el prémio propuesto por la Academia de las Ciencias de Paris sobre la explicacion del magnetismo, y los posteriores sistémas están todos fundados sobre aquellos principios ú otros semejantes, la exîstencia y ac-

accion de esta materia ha sufrido las objeciones de algunos respetables físicos.

Nosotros, no teniendo el talento necesario para pronunciar entre las opiniones de los grandes hombres, confesarémos francamente nuestra imposibilidad de vér algo bien establecido en el asunto: y, por esta razon, nos contentarémos con decir, que, verosimilmente, los fenómenos del imán proceden, en efecto, de una materia sutil diferente del aire, porque estos fenómenos se verifican tambien en el vacío de Boyle; pero que, en quanto á los resortes ó modo de obrar de esta máquina, nuestra ignorancia es absoluta.

DE LAS CORRECCIONES DE LOS RUMBOS aparentes.

105 Para emplear la Aguja en la direccion de la nave, es, como hemos visto, indispensable el determinar su variacion freqüentemente. En la segunda parte describirémos los instrumentos que pueden servir para observar las alturas de los astros y deducir, por los principios establecidos en el primer Libro, los puntos á que verdaderamente corresponden en el horizonte. Pero, supuesto este conocimiento, considerarémos desde ahora el modo de

de aplicarlo en el uso de los rumbos magnéticos.

106 La comparacion de la amplitud ó azimut calculado y el aparente de la Aguja no tiene la menor dificultad, y, quando mas, solo requiere la construccion de una figura, para ayudar la imaginacion y asegurar la evidencia, representando las posiciones relativas de los puntos cardinales del horizonte y rosa. Pero, aún sin este recurso, será facil deducir la cantidad y calidad de la variacion, por las siguientes reglas:

Tómese la diferencia entre el azimut verdadero y el magnético, contados ambos desde el mismo punto del meridiano, por exemplo, desde el norte: cuya diferencia será la variacion de la Aguja. Y la variacion hallada será del mismo nombre que el azimut verdadero, si éste es mayor que el magnético, pero de nombre contrario, si es menor.

Por exemplo: habiendo observado el Sol en el horizonte magnético al O S O de la Aguja, y calculado su verdadero azimut al mismo tiempo de 125° 53′ del Norte al Oéste se hará.

Azimut verdadero contado desde el N.	125° 53′ O
Azimut magnético contado desde el N.	112° 30′ O
Luego variacion de la Aguja..........	13° 23′ O

Co-

107 Conocida la variacion y su especie, será tambien facil determinar los rumbos verdaderos, por los aparentes de la Aguja: *Añadiendo aquella cantidad al valor de los rumbos en el quadrante en que cae el* N *de la Aguja y en el opuesto, y restándolo en los otros dos quadrantes.* Si en estas operaciones el resultado fuese negativo, será señal de que el rumbo corregido debe contarse en el quadrante inmediato por el norte ó sur: y si obtuso, el suplemento será el rumbo verdadero, en el quadrante adyacente por el E ú O.

Por exemplo: siendo la variacion de 18° O, y teniendo los siguientes

Rumbos aparentes...	NE $\frac{1}{4}$ N = 33° 45′	S $\frac{1}{4}$ SE = 11° 15′
	−18 00	+18 00
Serán los rumbos correg.	1° Q. 15 45	2° Q. 29 15

Rumbos aparentes.......	S $\frac{1}{4}$ SO = 11° 15′	O $\frac{1}{4}$ NO = 78° 45′
	−18 00	+18 00
Serán los rumbos correg.	2° Q. 6 45	3° Q. 83 15

108 El problema inverso es de mucho uso; porque, sabiendo qué rumbo verdadero conduce de un parage á otro, es despues necesario averiguar, á

qué rumbo de la Aguja debe gobernarse, para seguir la direccion precisa. Para esto se ve, que no hay mas que aplicar la cantidad de la variacion en sentido contrario, y en lo demás observar las reglas dadas en el parrafo antecedente.

Por exemplo: teniendo las mismas variaciones que ántes y los

Rumbos verdaderos....	NNE $=22^{\circ}\ 30'$	SE$\frac{1}{4}$S $=33^{\circ}\ 45'$
	$+\ 18\ \ 00$	$-\ 18\ \ 00$
Serán los rumbos aparentes.	1° Q. 40 30	2° Q. 15 45

Rumbos verdaderos....	O$\frac{1}{4}$SO $=78^{\circ}\ 45'$	N$\frac{1}{4}$NO $=11^{\circ}\ 15'$
	$+\ 18\ \ 00$	$-\ 18\ \ 00$
	96 45	
Serán los rumbos aparentes.	4° Q. 83 15	1° Q. 6 45

Del abatimiento. 109 La correccion de la variacion sirve para determinar la posicion actual de la quilla respecto al meridiano, y, por consiguiente, para mantenerla en la que se requiere; pero, como el camino de la nave las mas veces no es exâctamente segun su largo, sino que tambien se mueve de costado, la direccion de la quilla y la del movimiento forman entonces un ángulo, que se lla

llama el del *abatimiento ó deriva*, y esta es otra correccion indispensable á las indicaciones de la Aguja, para deducir por último la verdadera derrota que se ha seguido. Este ángulo se mide facilmente, porque sus lados están determinados por la paralela á la quilla, y la estela ó surco que dexa detrás la nave: y su aplicacion se ocurre á primera vista, porque es siempre ácia sotavento, esto es, porque la direccion del camino de la nave se aleja del rumbo á que mira la proa, en sentido opuesto á la direccion del viento. Si por esta correccion, aplicada despues de la variacion, ó tomadas ambas con sus competentes signos y aplicada la suma al rumbo, fuese el resultado obtuso ó negativo, se seguirán las reglas dadas, para saber en qué quadrante se ha de contar el verdadero rumbo.

110 El abatimiento puede medirse por qualquier instrumento circular, como la aguja &c.; pero, para no equivocarse en el radio que se suponga paralelo á la quilla, convendrá colocar en el medio del espejo de popa un semicírculo, ó en las portas de babor y estribor dos quartos de círculo, con uno de sus radios extremos paralelo á aquella direccion, y una alidada con pínulas, para disponerla segun la de la estela.

111 De todos modos, como la cantidad del

abatimiento varía con la fuerza del viento y de la marejada, convendrá observarla freqüentemente, para corregir despues los rumbos con la verdadera. El abatimiento varía tambien con el aparejo de la embarcacion y rumbo á que se gobierna; pero, en estos casos, deben evitarse todo lo posible las alteraciones freqüentes ó voluntarias, que las mas veces se desatienden y siempre imposibilitan su justa avaluacion en el cálculo. El cuidado de variar de aparejo y rumbo, mientras sea dable, en instantes fixos, como al concluir la hora, es una de las mejores precauciones, para disminuir los errores de la estima ó dexarla únicamente con los inevitables.

112 Para contribuir á este importante objeto, el abatimiento con que se corrijan los rumbos debe ser el observado, y no una cantidad estimada á ojo. Tampoco deben usarse las tablas generales de abatimientos; porque, en su construccion (fundada en una teórica dudosa), solo han entrado los principales elementos, que una multitud de circunstancias modifican. La insuficiencia de tales tablas hace estraño, que algunos autores ilustrados se tomasen el trabajo de calcularlas; pero, aún lo es mas, que los navegantes ingleses generalmente se guien para el abatimiento, por las reglas de Mr. Buckler publicadas ácia 1702 por Mr. Jones.

Á la verdad: si nunca es disculpable que el Piloto dexe de caminar con la posible certeza, por ignorar ó abandonar totalmente algunos de los recursos que le franquea el arte, aún lo es ménos, que por negligencia introduzca un nuevo error, que no conoce, quando trata de evitar el que podia medir exâctamente. La única tabla útil para estimar el abatimiento en una embarcacion sería aquella que se hubiese construido por experiencias hechas en el mismo buque, distinguiendo todas las circunstancias de calado, cantidad y disposicion del velamen, situacion y fuerza del viento, calidad del oleage, velocidad de la nave &c. pero ciertamente el Piloto que se tomáse este trabajo, con el esmero que corresponde, no sería el que, aún con la tabla hecha, dexaría de observar el abatimiento.

DE LA CORREDERA.

113 Entre los muchos medios propuestos á los navegantes, para medir el camino que anda la nave, el único usado en la actualidad, es la Corredera, que, probablemente, es tambien el primero que se imaginó. Asi, no deteniéndonos en hacer la historia de las tentativas hechas en este asunto, solò describirémos la Corredera, como se emplea

co-

comunmente, y las mejoras que discurrió Mr. Bouguer, para hacerla mas perfecta.

114 La Corredera se reduce, á comparar á un términó fixo, lo que anda la nave en un interválo determinado; y, por consiguiente, supone un medio exâcto de medir una porcion de tiempo, y la facilidad de tener un punto fixo en la superficie del mar.

115 Para el primer objeto, puede emplearse un relox de segundos de confianza; y aún, con el mismo fin, sería bueno construir una máquina mas sencilla, cuyo movimiento solo durase el corto interválo que se requiere. Pero, en defecto de uno y otro medio, el relox de arena, que generalmente se usa, es suficiente. En este caso es, no obstante, preciso asegurarse del interválo que mide la ampolleta, y para esto, no teniendo un relox aproposito, podrá recurrirse en tierra al péndulo que oscila los segundos.

116 La longitud de este péndulo aumenta con la latitud, y sus observaciones exîgen varias correcciones, relativas al calor que dilata los instrumentos, á la resistencia del aire, y á la altura sobre el nivel del mar en que se halla. En la práctica ordinaria de que tratamos, podrán, sin embargo, desatenderse estas circunstancias, consideran-

rando únicamente las variedades procedentes de la latitud, y aún esta podrá tambien negligenciarse, quando el lugar de la experiencia no esté muy próxîmo al equador, suponiendo constante la longitud de 36 pulgadas 8 $\frac{1}{2}$ líneas del pié de rey de París, que conviene ácia los 49°. Pero en todo caso, siempre será mejor consultar las experiencias hechas ó las tablas construidas á este fin, procurando dar al péndulo la longitud precisa.

117 El péndulo debe formarse de una bala de plomo de tres ó quatro líneas de diámetro, colgada de un hilo que no dé de sí con el peso, y la longitud hallada ha de contarse exâctamente, desde el centro de gravedad ó de figura de la bala, hasta el punto de la suspension del hilo. Para esto: mídase con la precision posible el diámetro de la bala, y pasando el otro extremo del hilo por una hendidura muy estrecha, abierta en un cuerpo sólido y fixo, que no la dexe fuego, tírese el hilo, hasta que, aplicándole una regla, se vea que la superficie superior de la bala al punto inferior de la hendidura, en que principia á morder el hilo, sea de la longitud que se requiere ménos el radio de la bala. Con esto, no habrá mas que desviar el péndulo de la vertical, como cosa de una pulgada, y, dexándolo libre, cada oscilacion medirá el inter-

terválo de un segundo; por donde, contando el número de oscilaciones que verifique el péndulo mientras cae toda la arena, se sabrá la porcion de tiempo que mide la ampolleta.

118 Para procurarse el punto fixo de comparacion en la superficie del mar, se arroja por la popa un pedazo de madera á que se dá ordinaria la figura de un triángulo, ó sector de unos 60° y de 6 á 7 pulgadas de radio, aforrando de plomo el arco, á fin de que casi todo el sector entre en el agua, y se mantenga perpendicular al horizonte: cuya situacion es necesaria, para que sea mas estable, y quede ménos sujeto á las impresiones del viento. Al vértice de este sector, llamado *barquilla*, se sujeta el extremo de un cordel, que es el que, soltado sucesivamente de á bordo, manifiesta lo que la nave se sepára del punto fixo, en el interválo que dura la experiencia. Pero como, concluida ésta, la misma disposicion vertical que se dió á la barquilla para la estabilidad, haría que, ofreciendo una gran superficie á la resistencia del agua, fuesen necesarios muchos esfuerzos, para traerla á bordo, el cordel, á una cierta distancia de la barquilla, se divide en dos ramas, y de éstas una es la que se fixa al vértice del sector, y la otra vá á parar cerca de su canto baxo, donde la

la retiene una clavija á que está atada, y que puede desencajarse, dando un estirón al cordel, quando acomode.

119 Como, introduciendo la clavija en la parte inferior del mismo sector, puede suceder, que, por ser la fuerza del estirón demasiado obliqua, la clavija no se desprenda facilmente, y que, de resultas, el cordel se rompa con las diligencias de recobrarlo, para facilitar esta operacion, es conveniente, que la clavija encaxe en una hembra, atada á un pedazo de cordel próxîmo al canto de la barquilla, por cuyo medio, una y otra tiradas segun su exe se desprenderán mas facilmente.

120 Para contribuir á que la barquilla permanezca en el mismo sitio, es necesario arrojarla ácia la parte de sotavento del camino de la nave; porque, las agitaciones ó remolinos de las aguas, que acuden á llenar el lugar desocupado, se extienden á alguna distancia en el surco ó estela que lo señala.

121 Tambien: como la barquilla, transportada por un movimiento comun á toda la nave, tiene al arrojarla, además de la velocidad resultante de la gravedad é impulso comunicado, otra precisamente igual á la del buque, es evidente, que, al caer en el agua, la barquilla no quedará inmovil,

 has-

hasta que la resistencia del fluido haya destruido los efectos de las dos últimas fuerzas: y en esta atencion, tampoco deberá principiarse la experiencia, hasta que la longitud del cordel soltado, ó distancia á que la popa del buque esté de la barquilla, sea igual al largo de éste.

122 Con este objeto, entre las mallas del cordel y á la distancia conveniente de la barquilla, se sujeta un trapo, de donde se principia á contar la distancia: y para esto, el que lo vá soltando advierte con una voz al que la tiene, que cambie la ampolleta. Para hacer la experiencia con comodidad y prevenir el riesgo de que el cordel se enrede, éste se conserva enrollado á una especie de molinillo, llamado *carretél*, que gira sobre un exe: el qual, sostenido por un asistente, facilita, que el que suelta el cordel lo vaya desenvolviendo, de modo que, ni su demasiada tirantez mueva la barquilla ácia la nave, ni de su floxedad resulte, que la porcion que salga exceda á la distancia intermedia. La importancia de este cuidado (que obliga á limitar como á medio minuto la experiencia, porque, durando mas, la barquilla estaría demasiado lexos, para juzgar del estado del cordel) se percibe facilmente, como tambien, la de detener el cordel, en el mismo instante en que el que tiene la ampolleta avi-

se

se con una voz, que acaba de caer la arena.

123 Midiendo despues la porcion de cordel comprehendido entre el trapo y el punto en que se detuvo, podría por una regla de proporcion averiguarse lo que, siguiendo la misma velocidad, caminaría la nave en una hora ó intervalo qualquiera: pero aún esta operacion se ahorra, dividiendo todo el cordel en partes tales, que cada una esté con una medida conocida, en la razon que el intervalo de tiempo que señala la ampolleta con una hora.

Todas las medidas que se emplean en el Pilotage dependen del grado terrestre, y éste, suponiendo que la Tierra sea esférica, se toma comunmente de 57000 toesas, que es un medio próxîmo entre los grados máxîmos y mínimos del meridiano (Astr. 353). Por fortuna, los navegantes de todas las naciones se conforman tambien en usar de leguas de veinte al grado. Y asi, dividiendo aquel número por 20, tendrémos la legua marina de 2850 toesas ó 6650 varas castellanas: y sacando la tercera parte, resultará el minuto ó milla de 950 toesas ó $2216\frac{2}{3}$ varas castellanas. Por tanto, representando n la porcion soltada del cordel en toesas, t el número de segundos que dura la ampolleta, y x lo que la embarcacion anda con la

misma velocidad en una hora ó $3600''$, se tendrá $t : 3600 = n : x$, y $x = \frac{3600 \times n}{t}$.

Esta expresion, si la ampolleta es de $30''$, y x igual á una milla ó 950 toesas, se reduce á $950 = \frac{3600 \times n}{30} = 120 \times n$, y por consiguiente, $n = \frac{950}{120} = 7 \frac{11}{12}$ toesas, ó reduciendo á pies de rey, $n = 47 \frac{1}{2}$. De lo que resulta, que la nave andará tantas millas por hora, quantas veces la longitud de la Corredera que sale en $30''$ contenga $47 \frac{1}{2}$ pies de rey, ó lo que es lo mismo, 55,42 de Burgos, ó 50,66 Ingleses. Con esto se vé, que, dividiendo toda la longitud del cordel en porciones iguales cada una á $47 \frac{1}{2}$ pies de rey, principiando desde el trapo referido, el número de estas porciones que salga, dará el de millas que la embarcacion anda por hora. Para no tener que contar el número de las divisiones, en cada una se pone un pedazo de cordel, que, por los nudos, manifiesta las que han pasado: los puntos medios de las millas, tambien suelen distinguirse por un cordel sin nudos: y en la avaluacion de las porciones menores es costumbre considerar la milla divi-

vidida en siete partes, que se llaman *brazas*, aunque mejor sería usar las décimas.

124 Como, aunque al principio se haya dividido la Corredera exâctamente, el uso y el temperamento hacen variar sus longitudes en el curso del viage, es siempre indispensable verificar las divisiones del cordel freqüentemente. No es ménos importante, probar el estado de la ampolleta, que tambien es variable con el temperamento, y porque la arena, ensanchando el pasage con el roce, disminuye la duracion que mide. Y con estas diligencias, podrá conseguirse el conservar constantemente las distancias de la Corredera, como se requiere para la experiencia de 30″, abandonando ó enmendando las ampolletas que midan otro intervalo. Pero como la ocasion puede no permitir este cuidado, ó el defecto puede advertirse despues del uso de la Corredera, quando esto ocurra, deberá atenderse á la diferencia notada, para deducir las correcciones que deben aplicarse á los resultados.

En este caso, la Corredera puede ser erronea de tres modos, y calcularse las correcciones convenientes, por las siguientes reglas.

125 *La division de la Corredera puede no ser exâcta, pero si la ampolleta que se emplea.*

En tal caso la distancia se supone igual á

$120 \times 55{,}42$ quando realmente es igual á $120 \times n$.

Esta expresion es igual á $120 \times 55{,}42 \times \frac{n}{55 \times 42}$ pies de Burgos ó $\frac{n}{55{,}42}$ millas; y asi, para deducirla de la primera:

Divídase el número de pies de Burgos de que consta la division por 55,42, *y el qüociente dará en millas la distancia verdadera á que corresponde.*

Por exemplo: si la longitud es de 49 pies, se hallará que la distancia correspondiente es 0,88 de milla.

2.° *La ampolleta al contrario puede haber variado, y las divisiones de la Corredera continuar las mismas.*

En este caso la distancia tambien se supone igual á $120 \times 55{,}42$, quando realmente es igual (123) á $\frac{3600 \times 55{,}42}{t}$. La primera expresion se reduce á ésta facilmente, porque, $120 \times 55{,}42 \times \frac{30}{t} = \frac{3600 \times 55{,}42}{t}$; de donde se sigue que:

Dividiendo 30 *por t, esto es, por el número de segundos que mide la ampolleta, el qüociente expresará en millas la verdadera distancia que le corresponde.*

Asi,

Así, si la ampolleta es, por exemplo, de 25″, la division de 47,5 corresponderá á 1,2 ó á 1 milla y $\frac{1}{5}$.

3.° *Por último, la ampolleta y las divisiones pueden estár desarregladas al mismo tiempo.*

En este caso, se toma 120×55,42 ó 6650, por la distancia en pies, quando la verdadera es igual á $\frac{3600 \times n}{t}$, y se ve que $6650 \times \frac{360 \times n}{665 \times t} = \frac{3600 \times n}{t}$; por lo qual:

Multiplicando por 360 el número de pies de Burgos de que consta la division, y por 665 el número de segundos que dura la ampolleta, y dividiendo el primer producto por el último, resultará en millas la distancia corregida.

Si, por exemplo, la ampolleta es de 15″ y la division de 63 pies, se dividirá 22680, por 9975, y el qüociente manifestará, que cada division equivale á 2,27 por hora.

126 Si todas las divisiones se hubiesen alargado ó encogido igualmente, con una sola proporcion podría inferirse la verdadera distancia de la hora; pero si, como es mas natural, cada division de la Corredera desarreglada fuese de diferente largo, las reglas antecedentes deberán aplicarse en parti-

ticular á cada division de las que hayan salido durante la experiencia, y su suma dará la distancia corregida.

127 *Por la formula hallada* (123), *es tambien facil averiguar la longitud que debe darse á cada division de la Corredera, para que represente una milla, sirviéndose de una ampolleta qualesquiera: y reciprocamente, la duracion que deberá medir la ampolleta, para que la longitud de la division determinada equivalga á igual distancia horaria.*

1.° En el primer caso se tiene $6650 = \frac{3600 \times n}{t}$,

ó $n = \frac{665}{360} \times t$, y por consequencia:

Multiplicando el número de segundos de la ampolleta propuesta por 665, *y dividiendo el producto por* 360, *el qüociente será en pies de Burgos la longitud que deberá darse á cada division de la Corredera para representar una milla.*

Asi, si se tiene una ampolleta de 22″, cada division de la Corredera deberá constar de 40,6 pies.

2.° Del mismo modo $t = \frac{360}{665} \times n$; y por consiguiente, *multiplicando el número de pies de Burgos que se haya dado á cada division de la Corredera por* 360, *y dividiendo el producto por* 665 *resulta-*

tarán los segundos que deberá durar la ampolleta, para que cada una de aquellas equivalga á una milla horaria.

Por exemplo : á la division de 55 pies, se verá que corresponde la ampolleta de 29″,77.

128 Como el movimiento de la embarcacion es raras veces uniforme, el Piloto deberá observar cuidadosamente las causas capaces de alterarlo, para echar la Corredera en el mismo instante en que recele alguna variedad. La marejada y el viento pueden producirlas muy considerables ; pero, en quanto á las resultantes de las diferencias en rumbo y aparejo, son voluntarias muchas veces, y podrán prevenirse, mudando uno ú otro, segun convenga, al concluir la hora. Si, repitiendo la experiencia, se notó alteracion en la velocidad de la nave, deberá sacarse por regla de proporcion lo que anduvo mientras continuó la misma, sumando despues los resultados para tener lo que anduvo en una hora. Para ahorrarse el trabajo de calcular y adicionar los diferentes resultados, algunos Pilotos suelen tomar como verdadera la distancia média entre las determinadas al principio y fin de cada hora ; pero esta práctica, nacida de la ignorancia y que solo pudo adoptar la negligencia, es tan erronea como ocurre á primera vista, y debe abandonarse totalmente.

129 De lo dicho sobre la Corredera resulta; que la exâctitud de su uso sobre todo depende de la inmovilidad de la barquilla. Si en la mar hay corriente que la conduzca ácia alguna parte, ó las olas excitadas por el viento dán un movimiento sensible á la superficie, es evidente, que aquel cuerpo no continuará fixo, y que, en lugar de la velocidad absoluta de la nave, solo se tendrá entonces el exceso ó el defecto de esta velocidad comparada á la de la barquilla, esto es, la velocidad relativa de una y otra. La medida de la Corredera dará, pues, de mas ó ménos todo el espacio correspondiente al corrido por la barquilla, segun ésta se mueva en contrario ó en el mismo sentido que la nave: de donde pueden resultar errores demasiado graves, para abandonarse á sus resultados. Si el interior del mar padeciese las mismas agitaciones que su superficie, es probable, sin embargo, que todos nuestros esfuerzos, para conseguir mayor perfeccion en este instrumento, serían al fin inútiles; pero Mr. Bouguer, meditando sobre la naturaleza de las causas que ponen en movimiento el mar, llegó á esperar un punto fixo en la masa de las aguas; y, por consiguiente, un medio de saber con mas exâctitud la velocidad de las embarcaciones.

130 Las profundidades de las corrientes son di-

diferentes, y, segun las justas reflexiones de Mr. Bouguer (Vease nuestra seccion sobre las corrientes), aquellas cuya direccion sea mas constante, deberán ser las mas profundas, y las que tienen su origen en causas variables mas superficiales. Las primeras no oponen grandes obstáculos á la Navegacion, porque los Pilotos pueden y deben conocer con corta diferencia su situacion direccion y fuerza; pero en las segundas, su inconstancia impide sacar fruto de las observaciones anteriores, é imposibilita toda precaucion que no sea la de medir el efecto al mismo tiempo de experimentarlo. Mr. Bouguer dirigió, pues, sus miras principalmente á buscar un medio de practicarlo, y el recurso que imaginó debe numerarse entre los muchos beneficios que la marina debe á aquel grande hombre.

131 La Corredera de Mr. Bouguer se funda, pues, en el principio de que las corrientes solo son sensibles hasta una cierta profundidad poco considerable, y que pasado este término, las aguas pueden considerarse como estacionarias. Para dar una idéa de este instrumento, supongamos que la barquilla ABC, en lugar de estar cargada inferiormente de un pedazo de plomo, sostenga con el cordel BD el cuerpo DE, que desciende lo suficiente para hallarse en agua perfectamente parada. En es- *Fig. 14.*

ta disposicion es claro, que la impresion de la corriente, que choca á la barquilla en razon de la superficie que la presenta, estará contrariada por la resistencia que el otro cuerpo experimenta en el agua parada, que dividirá con tanta mas dificultad, quanto su superficie sea mas considerable; y que, por consiguiente, este instrumento no será, ni tan movible como la Corredera ordinaria, ni totalmente inmovil. La perfecta inmovilidad solo se conseguiria, haciendo la superficie del cuerpo inferior infinito respecto á la del superior; pero, aunque esta suposicion es imposible, su consideracion hace patente el recurso que queda de adaptar el instrumento á que solo tome la parte que se quiera de la velocidad de la corriente sobre que nada.

132 Con esto se echa de ver, que la nueva Corredera tiene á lo ménos la propiedad de disminuir los errores de la ordinaria; pero, aunque ciertamente ésta es una gran ventaja, las que podemos sacar de ella son todavia mayores. Supongamos, por exemplo, que, haciendo la superficie que el cuerpo inferior opone al fluido triple de la que opone el otro, se consiga que el instrumento solo tome la quarta parte de la velocidad de la corriente. En tal caso es claro, que si el movimiento de la corriente es en el mismo sentido que el de la na-

nave, echando al mismo tiempo la Corredera antigua y la moderna, se hallará que la última dará la velocidad de la nave mayor que la otra; y aunque ni la una ni la otra indiquen la verdadera, será facil concluirla, atendiendo á que el instrumento antiguo recibe toda la velocidad de la corriente y el nuevo solo la quarta parte; de que resulta, que la diferencia de uno y otro es igual á las tres quartas partes de la velocidad de la corriente: la qual averiguada de este modo, y añadida á la velocidad de la nave medida por la Corredera antigua, dará su velocidad absoluta.

133. En la suposicion hecha de una corriente en la misma direccion que el camino de la nave, los dos cordeles de las Correderas antigua y moderna quedarán exâctamente paralelos entre sí y al rumbo. Pero, si la direccion de la corriente forma un ángulo con la de la derrota (1), es claro, que la nueva Corredera, teniendo ménos movimiento que la antigua, los dos cordeles no podrán ser paralelos, ni aún continuar en el mismo ángulo durante la experiencia. No obstante, si al fin de ella se mide, con una Aguja ú otro medio, el ángulo que

(1) Entre los Pilotos se llama tambien derrota la direccion que sigue la nave.

que forman los dos cordeles, se tendrá facilmente, resolviendo dos triángulos rectilíneos, el ángulo de la derrota con la corriente, el efecto de ésta, y, por consiguiente, la velocidad absoluta de la nave.

134 Aunque el modo de practicar estas operaciones se ocurre á qualquiera, para ayudar la imaginacion, convendrá formar una figura como la 15, cuya construccion podrá tambien servir para resolver los triángulos. La línea AB representa, por exemplo, la derrota que seguiría la nave sino experimentase la accion de la corriente, AE el espacio corrido por la corriente, mientras la embarcacion movida por el viento y por la misma corriente realmente corre la diagonal AC del paralelógramo ABCE, CE la situacion en que se halla la Corredera antigua, quando la nueva, cuya barquilla solo llegó á D mientras la de la otra á E, se dirige segun CD. Con esto en el triángulo ECD se conocen los dos lados EC, CD, que son las medidas de las dos Correderas, y el ángulo ECD, observado; por cuyo medio, se deducirán facilmente los valores del lado ED y del ángulo EDC. Tomando, pues, la parte proporcional, que en nuestro exemplo es la tercera de ED, y añadiéndola á esta línea, se tendrá la velocidad absoluta y direccion de la

cor-

corriente. Y últimamente, resolviendo el triángulo CDA con los lados CD, DA y el ángulo CDA conocidos, resultará la verdadera velocidad y direccion de la nave CA.

135 Toda la teórica de Mr. Bouguer, como se vé, depende de que el cuerpo inferior de su Corredera llegue á quedar en agua parada, y de esto nace naturalmente una dificultad en su uso. En efecto, si, como no tiene duda, las profundidades de las corrientes son distintas, no parece facil asegurarse, de que el cuerpo inferior realmente haya descendido lo suficiente, para quedar debaxo del agua agitada: y esta incertidumbre disminuiría mucho las utilidades de la Corredera, si ella misma no proporcionase medios de verificarla. Esto, sin embargo, se executa con la mayor prontitud y sencillez. Hágase baxar el cuerpo inferior hasta la profundidad en que se juzga el agua libre de corriente, y compárense desde luego las velocidades de la nave determinadas por esta Corredera y la ordinaria: y repitiendo la misma operacion, haciendo descender algo mas el cuerpo; si la diferencia de las velocidades se halla la misma en ambas veces, esto será señal cierta de que el instrumento habia ya adquirido todo el grado de inmovilidad de que era capáz, pero, si al contrario, es mayor en la segunda operacion,

no

no quedará duda de que en la primera participaba del movimiento mas que en ésta, y deberá repetirse la comparacion, hasta que por las dos Correderas se encuentre la misma diferencia en dos observaciones sucesivas. Alguna vez podrá suceder, que la poca profundidad del mar no permite esta práctica; pero en tal caso no hay mas que dexar el cuerpo inferior en el mismo fondo, donde, estando perfectamente inmovil, dará sin necesidad de cálculos ni reducciones, la velocidad absoluta de la nave.

136 Los principios generales de la construccion de este instrumento pueden aplicarse facilmente á las proporciones y clase de cuerpos que se prefieran, y sobre su exâctitud deberá despues consultarse la experiencia. Mr. Bouguer cree que la barquilla ABC podría siempre hacerse de figura có-
Fig. 14. nica, ó como un pilón de azucar hueco por debaxo, y con sus lados perfectamente rectos, dando seis pulgadas de largo á estos lados y al diámetro de la basa tres pulgadas (del pie de rey). El cuerpo inferior DE podia tambien formarse de dos pedazos ó planchas quadradas de fierro iguales, cortándose por su diagonal perpendicularmente, y de nueve pulgadas ocho y media líneas de lado, en cuya disposicion el movimiento de la Corredera sería la quarta parte del de la corriente.

Pa-

137 Para que el nuevo aparato del instrumento no aumente la dificultad de recogerlo á bordo, el cordel BD deberá ser una continuacion del BF, y atravesar la barquilla ABC taladrada de arriba abaxo á este proposito. Un nudo á la distancia conveniente hará, que al echar la Corredera baxe el cuerpo DE lo que se quiere: y al recobrarla del modo ordinario, soltándose la clavija G, el cordel principal irá corriendo hasta juntar los dos cuerpos, que entonces podrán traerse á bordo facilmente.

138 Nuestro amor á la marina no nos permite pasar en silencio las ventajas que resultarían de usar esta Corredera perfeccionada. Las experiencias del Lord Mulgrave, en su viage al norte, han acreditado su mayor exâctitud en la medida de la distancia: y no es dudable, que sus comparaciones multiplicadas nos facilitarían varios conocimientos sobre las corrientes, que serían utilísimos en la práctica de las navegaciones.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES para la resolucion de los problemas de la Navegacion.

139 Las Cartas pueden servir, para saber el rumbo y distancia que conduce de un parage á otro, y la Aguja y Corredera, para, con el rumbo y distancia, trazar en la Carta el camino de la nave, y determinar el punto en que se halla. Á estos dos problemas parece, pues, que debia reducirse toda la Navegacion, á la primera vista de los medios que la dirigen. Pero, como las observaciones astronómicas, la presencia de la tierra &c. suministran otros datos que dán resultados mas seguros, se emplean con freqüencia y son muy útiles, los que se deducen de todas las combinaciones posibles de los elementos que se emplean en el Pilotage. Por lo que, sin entrar ahora en los modos de adquirir los datos supuestos, considerarémos todos los casos que pueden proponerse, haciendo ántes algunas reflexîones que facilitarán la inteligencia de lo sucesivo.

140 Toda la teórica de la Navegacion depende de la naturaleza de la loxôdrómia; y asi, de la eqüacion de esta curva podrían sacarse fórmu-

las

las y reglas generales, para resolver todos los problemas posibles del Pilotage. Siendo el globo terráqüeo un sólido formado por la revolucion de la curva del meridiano al rededor de su exe, y representando EQ el equador, P el polo, PM, PB, PA, PN los meridianos, CL, DF, XG los paralelos, y LX la loxôdrómia; se tiene, formando el triángulo diferencial cab, y haciendo a igual al ángulo constante de la loxôdrómia con el meridiano, $cb = dp$, y $ba = dL$, $dL : dp = 1 : \text{tang. } a$, ó $dp = dL \times \text{tang. } a$. Tambien, tomando el radio del equador por unidad, y llamando r al del paralelo, resulta $1 : r = AB : dp$, y haciendo $AB = dl$, $dp = r \times dl$. Con estas dos eqüaciones y la de la curva del meridiano, podrá hallarse, por el cálculo integral, la relacion entre las coordenadas de la loxôdrómia, ó arcos del equador y meridiano que determinan sus puntos: entre los arcos de la loxôdrómia y la coordenada que se elija: y, deduciendo de la equacion de la curva del meridiano el ángulo de la normal y radio del equador, la relacion entre la latitud y longitud de todos los puntos de la loxôdrómia. *Fig.* 16.

141 Este raciocinio puede aplicarse al esferoide elíptico, y las fórmulas deducidas de estos principios, no serían ménos útiles para la práctica

de la Navégacion, que para manifestar la utilidad del cálculo sublíme; pero nosotros no nos detendrémos en estas operaciones, porque á los poco inteligentes les parecerían juegos de Algebra, y porque los instruidos no experimentarán grandes tropiezos al extenderlas. La equacion de la loxôdrómia en la esfera puede, no obstante, facilitarnos algunos conocimientos útiles, que nos estimulan á establecerla.

142 Substituyendo en la equacion $dp = dL \times \text{tang.} a$ el valor de $dp = r\,dl$, se tiene $r\,dl = dL \times \text{tang.} a$, y $\text{tang.} a = \frac{r\,dl}{dL}$. La propiedad del círculo, suponiendo que la ordenada L sea igual á la latitud Ac, ó que se cuente desde el equador, dá $r = \cos. L$; luego $\text{tang.}\ a = \frac{\cos L \times dl}{dL}$, y $\text{tang.}\ a \times \frac{dL}{\cos L} = dl$, é integrando $\text{tang.} a \times \log. \frac{(1 - \text{sen}\, L)^{\frac{1}{2}}}{(1 + \text{sen}\, L)^{\frac{1}{2}}} + C = l$: equacion de la loxôdrómia en la superficie de la esfera.

143 Llamando ahora x al arco igual á la mitad del complemento de la latitud L, se tendrá

tang.

tang. $a \times$ log. tang. $x + C = l$; en cuya equacion, quando el primer término es igual á cero, l se reduce á la longitud del punto en que la loxôdrómia corta al equador, y C resulta igual al mismo arco tomado con el signo conveniente. Asi, contando las longitudes, ó estableciendo el origen de las abcisas en la misma interseccion, tendrémos — tang. $a \times$ log. tang. $x = l$, y si el ángulo del rumbo es de 45°, — log. tang. $x = l$, segun ya demostrámos de otro modo (23).

144 Esto supuesto, continuemos en considerar la naturaleza de la loxôdrómia, para deducir métodos mas faciles de servirnos de sus propiedades. Siendo LX la loxôdrómia, que forma el mismo ángulo con todos los meridianos conducidos por el polo P al equador EQ, y suponiendo, que los dos PA, PB estén infinitamente próxîmos, es claro, tirando el paralelo DF, que el triángulo bca podrá por su pequeñéz considerarse como rectilíneo. La embarcacion que en un instante corrió la hipotenusa ca, se hallará en el mismo lugar que si primero hubiese pasado de c á b y luego de b á a; y así se vé, que el lado cb representa la distancia que la embarcacion anduvo del éste al oéste contada en el paralelo DF, y ba lo que anduvo en la direccion norte-sur, ó la diferencia de latitud correspondiente.

te. Por consiguiente, dados *ca* y el ángulo del rumbo *bac*, se determinarán *cb*, y *ba*, diciendo por las reglas de la Trigonometría rectilínea, $ca : cb = 1 :$ sen. bac, y $ca : ba = 1 :$ cos. bac.

145 Toda la loxôdrómia LX puede, pues, considerarse dividida en pequeñas porciones como *ca*, y concebir en cada una otro pequeño triángulo, que será precisamente semejante al *cba*; y de aqui resulta, que la suma de todas las pequeñas hipotenusas, ó el largo de la loxôdrómia, será á la de todos los lados homólogos, como, por exemplo, la de los que miden el camino hecho norte-sur ó éste-oéste: como una hipotenusa, á su correspondiente lado: esto es, como 1 á cos. *bac*, ó 1 á sen. *bac*, ó llamando *a* al ángulo del rumbo, como 1 á cos. *a*, ó 1 á sen. *a*.

Fig. 17. 146 Construyendo ahora un triángulo rectilíneo LXA rectángulo en A, y cuyo ángulo XLA sea igual al del rumbo, tendrémos $LX : LA = R :$ cos. XLA ($=$ cos. *a*), y $LX : AX = R :$ sen. XLA ($=$ sen. *a*); de lo que se sigue, que LX, y LA estarán entre sí en la misma razon que la longitud de la loxôdrómia y la distancia norte-sur, y LX, y AX en la misma que la primera y la distancia éste-oéste.

Por esta demostracion puede, pues, establecerse

se este principio general: Que aunque la loxôdrómia sea una línea curva, construyendo un triángulo rectilíneo rectángulo, cuya hipotenusa represente la distancia andada y que tenga un ángulo igual al del rumbo, el lado adyacente á este ángulo determinará el camino hecho en la direccion norte-sur, y el lado opuesto al mismo ángulo el camino hecho en la direccion éste-oéste.

147 A este camino éste-oéste llamarémos *apartamiento de meridiano*, para expresarnos facilmente y conformarnos al uso comun de los Pilotos: aunque, por apartamiento de meridiano, debe entenderse el arco de qualquier paralelo comprehendido entre dos meridianos.

148 Con la mayor facilidad puede, pues, representarse en el mismo plano y por líneas rectas lo que la embarcacion anda segun el meridiano y su perpendicular, siguiendo una línea curva en la superficie curva de la esfera. Pero, para deducir despues por este medio el lugar á que ha llegado, es necesario reducir el camino hecho norte-sur á diferencia en latitud, y el hecho éste-oéste á diferencia en longitud.

149 La primera reduccion es facil, porque, contándose lo caminado segun esta direccion en un círculo máxîmo de la esfera, no hay mas que tomar

mar un minuto por cada milla de 950, y un grado por cada veinte leguas de 2850 toesas cada una.

150 La segunda no puede hacerse tan directamente; porque, siendo el camino éste-oéste XA igual á la suma de todas las pequeñas porciones *bc* (fig. 16), es necesario descomponerlo en estas partes, y calcular separadamente por la latitud de cada una (5) los arcos del equador á que corresponden. Este trabajo se ahorraría, si se supiera la latitud del paralelo, en el qual, la porcion abrazada por los dos meridianos PM, PN es igual al camino XA (fig. 17); pero se vé evidentemente, que este camino es mayor que la XG (fig. 16), y menor que la CL: y la averiguacion de la precisa latitud intermedia en que la diferencia es nula, en general, solo puede hacerse, por el mismo método que daría la diferencia en longitud, sin la necesidad de reducir despues la distancia del paralelo al equador. Por esta razon, pues, nos propondrémos desde luego, el determinar la diferencia en longitud directa y exâctamente.

Fig. 16. 151 Dando el triángulo cba, $ba : bc = R : \text{tang. } bac$, y siendo además $bc : AB = \text{cos. } Ac : R = R : \text{sec. } Ac$, tendrémos $ba : AB = R^2 : \text{tang. } bac \times \text{sec. } Ac$, y por consiguiente

te $AB = \frac{ba \times tang.\, bac \times sec.\, Ac}{R^2} = \frac{ba \times sec.\, Ac}{R} \times \frac{tang.\, bac}{R}$. Pero como, $\frac{ba \times sec.\, Ac}{R}$ expresa la dimension que debe darse á la parte *ba* del meridiano en la Carta reducida (10), y pudiendo demostrarse lo mismo de todas las partes de LX, es evidente, que la suma de todos los arcos AB, ó arco total MN, es igual á la suma de todas las partes meridionales de la diferencia en latitud LG multiplicada por la constante $\frac{tang.\, bac}{R}$. Asi, para determinar la diferencia en longitud, tendrémos la siguiente proporcion: *El radio, á la tangente del rumbo: como la diferencia de las latitudes crecientes salida y llegada, á la diferencia en longitud*: en cuya regla se echa de ver, que si las dos latitudes fuesen de nombre contrario, en lugar de la diferencia de las latitudes crecientes, debería tomarse su suma.

152 Prolongando en el triángulo LXA el lado LA, hasta que LC sea igual á la diferencia ó suma de las latitudes crecientes, se tendrá, tirando por C una paralela á XA y continuando la LX, un triángulo LBC, y en el LC : CB = R : tang. XLA. Asi, el triángulo LBC que determina *Fig.* 17.

 la

la diferencia en longitud es semejante al que determina el apartamiento de meridiano, y la primera cantidad puede hallarse por una construccion como la segunda.

153 Este método de hallar la diferencia en longitud es sumamente simple, porque las partes meridionales ó latitudes crecientes se tienen, sin la necesidad de calcularlas, en las tablas, Cartas reducidas y otras escalas graduadas que se usan en el Pilotage. Pero, no obstante esta ventaja, y la de la mayor exâctitud del cómputo, los Pilotos generalmente recurren á otro método, que prefieren por mas facil.

Fig. 16. 154 El fundamento de este método supone, que el arco DF del paralelo que pasa á distancias iguales de los dos extremos CL, XG es precisamente igual al apartamiento de meridiano; por cuyo principio, determinado el camino hecho norte-sur LA (fig. 17), y reducido á grados de diferencia en latitud, no hay mas que añadir la mitad á la menor latitud NL, y hacer esta proporcion: *El coseno de la latitud* NF *del paralelo medio, al radio : como el apartamiento de meridiano, al arco correspondiente del equador* MN, *expresado en leguas, millas, &c.* : la qual se convertirá en grados como se hizo con la diferencia en latitud.

El

155 El mismo resultado puede hallarse por la construccion de un triángulo rectángulo MPN, en el qual el ángulo MNP sea igual á la latitud media, y el lado NP igual al apartamiento de meridiano en millas &c. pues entonces se tiene NP : NM = cos. MNP : R; de modo, que la hipotenusa MN representa el arco de equador ó diferencia en longitud correspondiente. *Fig.* 18.

156 Pero, considerando los principios de este método, se percibe facilmente, que el coseno de la latitud media no es medio proporcional aritmético entre los cosenos de dos distintas latitudes, ni el apartamiento de meridiano, contrahido en un rumbo obliquo, igual al arco del paralelo medio, comprehendido entre los meridianos extremos; de donde se sigue, que los resultados de las operaciones precedentes padecerán errores tanto mas considerables, quanto las latitudes sean mas altas y el largo de la loxôdrómia, ó distancia andada, mas crecida. Sin embargo, como en las proxîmidades al equador y quando las diferencias en latitud y longitud son cortas, aquellos errores son despreciables, en las regiones de los viages ordinarios, el uso del paralelo medio es admisible, y puede sin peligro continuarse, para la reduccion del camino hecho en un dia, que es lo que se acostumbra.

157 Los errores que proceden del uso del paralelo médio pueden investigarse de este modo. Sea m la latitud salida, $m+q$ la llegada, a el ángulo del rumbo, y z la diferencia en longitud. Tendrémos (142) la longitud llegada igual á $-\text{tang.}a$ $\times \log. \frac{\left(1-sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1+sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}} + C$, y la longitud salida igual á $-\text{tang.}a \times \log. \frac{(1-sen\ m)^{\frac{1}{2}}}{(1+sen\ m)^{\frac{1}{2}}} + C$; y por consiguiente, la diferencia en longitud $z = \text{tang.}a$

$$\left(-\log. \frac{\left(1-sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1+sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}} + \log. \frac{(1-sen\ m)^{\frac{1}{2}}}{(1+sen\ m)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= \text{tang.}a\left(\log. \frac{\left(1+sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1-sen(m+q)\right)^{\frac{1}{2}}} + \log. \frac{(1-sen\,m)^{\frac{1}{2}}}{(1+sen\,m)^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= \tfrac{1}{2}\ \text{tang.}a \times \log. \left(\left(\frac{1+sen(m+q)}{1-sen(m+q)}\right) \times \left(\frac{1-sen\ m}{1+sen\ m}\right)\right)$$

$$= \tfrac{1}{2}\ \text{tang.}a\ \log. \left(1 + \frac{2\left(sen(m+q)-sen\,m\right)}{\left(1-sen(m+q)\right)\left(1+sen\,m\right)}\right).$$

Por el cálculo de los senos es, $\text{sen}\,(m+q) - \text{sen}\,m = 2\ \text{sen}\,\tfrac{1}{2}\,q \cos\,(m+\tfrac{1}{2}\,q)$, $1-\text{sen}\,(m+q)$ $=$

$= \text{sen } 90° - \text{sen } (m + q) = 2 \text{ sen} (45° - \frac{1}{2} m - \frac{1}{2} q)$ $\cos (45° + \frac{1}{2} m + \frac{1}{2} q)$, y $1 + \text{sen } m = 2 \text{ sen} (45° + \frac{1}{2} m)$ $\cos (45° - \frac{1}{2} m)$. Pero $\text{sen} (45° - \frac{1}{2} m - \frac{1}{2} q)$ $\text{sen} (45° + \frac{1}{2} m) = \frac{1}{2} \cos (m + \frac{1}{2} q) - \frac{1}{2} \cos (90° - \frac{1}{2} q)$ $= \frac{1}{2} \cos (m + \frac{1}{2} q) - \frac{1}{2} \text{sen } \frac{1}{2} q$. Y del mismo modo, $\cos (45° + \frac{1}{2} m + \frac{1}{2} q) \cos (45° - \frac{1}{2} m)$ $= \frac{1}{2} \cos (90° + \frac{1}{2} q) + \frac{1}{2} \cos (m + \frac{1}{2} q) = -\frac{1}{2} \text{sen } \frac{1}{2} q$ $+ \frac{1}{2} \cos (m + \frac{1}{2} q)$, luego $z = \frac{1}{2}$ tangente $a \times$ logarithmo $\left(1 + \frac{4 \, sen \frac{1}{2} q \, cos (m + \frac{1}{2} q)}{(cos (m + \frac{1}{2} q) - sen \frac{1}{2} q)^2}\right)$.

Por una fórmula generalmente sabida, tambien es $\log. (1 + x) = x - \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{2} x^3 + \&c.$, y haciendo $x = \frac{4 \, sen \frac{1}{2} q \, cos (m + \frac{1}{2} q)}{(cos (m + \frac{1}{2} q) - sen \frac{1}{2} q)^2}$, ó mas bien, $x =$ al valor de esta cantidad reducida á série, y substituyendo este valor de x en la série que expresa el valor de $\log. (1 + x)$, tendrémos, despreciando todo lo que pasa la tercera potencia de sen $\frac{1}{2} q$, $z = \text{tang.} a$ $\left(\frac{2 \, sen \frac{1}{2} q}{cos (m + \frac{1}{2} q)} + \frac{\frac{2}{3} \, sen^3 \frac{1}{2} q}{cos^3 (m + \frac{1}{2} q)}\right)$.

Pero se tiene (vease la quarta parte del excelente curso de Mr. Bezout § 162), sen $\frac{1}{2} q$ =

$= \frac{1}{2} q - \frac{1}{2.3} \times \frac{1}{8} q^3$, despreciando lo que excede el orden 3, luego $z = \text{tang.}a \left(\frac{q}{\cos(m + \frac{1}{2} q)} + \frac{1}{12} q^3 \times \frac{1 - \frac{1}{2}\cos^2(m + \frac{1}{2} q)}{\cos^3(m + \frac{1}{2} q)} \right)$.

Representando ahora z' la diferencia en longitud que dá el paralelo medio, es facil ver que $z' = \text{tang.}a \times \frac{q}{\cos(m + \frac{1}{2} q)}$, y que por consiguiente el error $z - z' = \text{tang.}a \frac{1}{12} q^3 \left(\frac{1 - \frac{1}{2}\cos^2(m + \frac{1}{2} q)}{\cos^3(m + \frac{1}{2} q)} \right)$.

Sea l la distancia andada en leguas, ó $3l$ el número de minutos de grado á que equivale, y siendo el minuto en el círculo cuyo radio es uno proxîmamente igual á 0,00029, tendrémos $3l \times 0,00029$ por la distancia andada, referida á la esfera cuyo radio es la unidad. Representando q el arco correspondiente en latitud, tambien es, $3l \times 0,00029 . \cos a = q$, y por consiguiente, $z - z' = \frac{27}{12} \overline{l \times 0,00029}^3 \text{ sen } a \cos^2 a \left(\frac{1 - \frac{1}{2}\cos^2(m + \frac{1}{2} q)}{\cos^3(m + \frac{1}{2} q)} \right)$; de donde resulta $\frac{z - z'}{0,00029} = \frac{9}{4} \overline{l \times 0,00029}^2 l \text{ sen} a$

cos²

$\cos^2 a \left(\frac{1-\frac{1}{2}\cos^2(m+\frac{1}{2}q)}{\cos^3(m+\frac{1}{2}q)}\right)$. Y como $\frac{z-z'}{0{,}00029}$ expresa el número de minutos del arco $z-z'$, representándolo por N, será $N=\frac{9}{4}\,\overline{l^3\times 0{,}00029}^{\,2}\times \text{sen}\, a$ $\cos^2 a \left(\frac{1-\frac{1}{2}\cos^2(m+\frac{1}{2}q)}{\cos^3(m+\frac{1}{2}q)}\right)$.

Expresando ahora n el número de centenas de leguas de la distancia, tambien tendrémos $\frac{l}{100}=n$, ó $l=100n$, y por consiguiente, $\frac{9}{4}\,\overline{l^3\times 0{,}00029}^{\,2}$ $=0{,}1892\,n^3$. Por lo qual, tomando $\sqrt{\frac{1}{2}}\times\cos.$ $(m+\frac{1}{2}q)=\cos k$, y substituyendo, resultará $N=0{,}1892\;n^3\,\text{sen}\, a\cos^2 a\;\frac{\text{tang}^2 k}{2\sqrt{2\cos k}}$

Quando $\text{sen}\, a\times\cos^2 a$ está en su máxîmo, tenemos $\text{sen}\, a=\sqrt{\frac{1}{3}}$; y por conseqüencia, substituyendo este valor, $N=0{,}1892\;n^3\times\frac{2}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ .... $\times\;\frac{\text{tang}^2 k}{2\sqrt{2\cos k}}=\frac{0{,}0631\,n^3\,\text{tang}^2 k}{\cos k\sqrt{6}}=\frac{0{,}0257\,n^3\,\text{tang}^2 k}{\cos k}$

158 Asi, suponiendo $m+\frac{1}{2}q$, sucesivamente, $=0°$, $=45°$, $=60°$, $=75°$, $=80°$, se tendrán los valores correspondientes, $N=0{,}036\,n^3$; $N=0{,}154\,n^3$;

N

$N=0,509\ n^3$; $N=4,05\ n^3$; $N=13,62\ n^3$. Por donde se vé, que, tomando el paralelo medio sucesivamente, en el equador, en 45°, en 60°. &c., y no excediendo la distancia andada de dos centenas de leguas, el error en longitud resultante del uso del paralelo medio nunca podrá ser mayor que 0,29', ó 0′ 17″ en el equador: que 1′, 23′, ó 1′ 14″ en el paralelo de 45°: que 4′,08′, ó 4′ 5″ en el paralelo de 60°; pero que en el paralelo de 75°, ya sería de 32′, 40, ó 32′ 24″, y en el paralelo de 80° de 108′, 96 ó 1° 48′ 58″.

159 Si la distancia supuesta fuese igual á la mitad de aquella, los errores serían ocho veces menores: y al contrario serían 8 veces, 27 veces, 64 veces mayores, si la distancia fuese 2 veces, 3 veces, 4 veces mas grande.

160 Recíprocamente, siendo $n^3 = \frac{N \cos k}{0,0257 \tan^2 k} = \frac{38,91 N \cos k}{\tan^2 k}$, podría averiguarse, qual debe ser la distancia andada, para que el error que el uso del paralelo medio produzca en la longitud no exceda de una cantidad determinada.

Por exemplo: si se pide qual puede ser la distancia en los paralelos medios 0°, 45°, 60°, 75°, 80°, para que dicho error no exceda un minuto, no

no hay mas que hacer $N=1$, $m+\frac{1}{2}q$, sucesivamente, $=0°$, $45°$, &c., y se hallará $n=3{,}02$; $n=1{,}87$; $n=1{,}25$; $n=0{,}62$; $n=0{,}42$: esto es, que para que el error causado por el uso del medio paralelo, no exceda un minuto, es necesario que la distancia no exceda 302 leguas en la equinocial, 187 leguas en el paralelo de 45°, 125 leguas en el de 60°, 62 leguas en el de 75°, y 42 leguas en el de 80°.

161 Estos principios, que están sacados del Tratado de Navegacion de Mr. Bezout, no dexan duda sobre el buen uso del paralelo medio.

DETERMINACION DEL LUGAR de la nave á la vista de las costas.

162 Quando se dexan los puertos para emprender algun viage, ordinariamente se toma el punto de salida desde el en que se vá á perder la tierra de vista; porque el hacerlo desde el momento de dar la vela sería ménos exâcto y mas embarazoso. En el curso de un viage ó al concluirlo, tambien se principia otra cuenta mas segura, ó se descubren los errores de la que se llevaba por la vista de las tierras conocidas. Y asi, el averiguar el lugar de la nave por este medio es uno de los primeros y

mas necesarios problemas del Pilotage.

El modo de resolverlo se ocurre facilmente, segun los datos que se tengan, y sus casos generales se reducen á los siguientes.

163 Hechas dos marcaciones contemporaneas á dos puntos de tierra conocidos, y tirando en la carta por cada uno de ellos una línea paralela al rumbo que le corresponde, el de interseccion de las dos líneas determinará el punto de la nave [1].

Fig. 19. 164 El mismo problema puede tambien resolverse por trigonometría rectilínea; porque, siendo A, y B los dos puntos de tierra cuyas posiciones se conocen, y $p\,m$ la direccion del meridiano, podrá formarse un triángulo A p B rectángulo en p, en el qual p B representa la diferencia de latitud en millas, y Ap el apartamiento de meridiano, deducido de la diferencia en longitud (5). Los lados A p, y p B bastan para calcular en el triángulo A p B el valor de la hipotenusa A B, y de uno de los

(1) Es claro, que esta y las siguientes operaciones suponen que los meridianos sean paralelos, ó que el rumbo á que se vé un objeto desde un punto es el mismo que debería seguirse para pasar de uno á otro. Esto rigorosamente no es cierto; pero la distancia á que pueden percibirse los objetos que se marcan no es jamas bastante grande, para que aquella suposicion produzca un error considerable.

los ángulos agudos, por exemplo B; y hallado despues por este ángulo y el de la marcacion á B, igual á N B m, el ángulo A B N, y conocidos ya el lado AB y el ángulo A N B, podrá determinarse, por la resolucion del triángulo A N B, el lado N B. Asi, formando el triángulo NBE rectángulo en E, con la hipotenusa N B y el ángulo B, se hallarán facilmente los lados N E, y B E: y representando B E la diferencia en latitud, y N E el apartamiento de meridiano entre N, y B, será facil, convirtiendo el último en diferencia en longitud, deducir últimamente por la situacion del punto B la de la nave N.

165 El influxo que tienen en los resultados los cortos errores, que pueden cometerse en qualquiera operacion como la anterior, se indagan facilmente por las reglas comunes de la Trigonometría rectilínea.

166 Por exemplo: si suponemos la marcacion equivocada en el ángulo N A n, tendrémos sen. N A n : N n = sen. A n N : A N, ó por ser N A n muy pequeño, N A n : N n = sen. A N n : A N, y por consiguiente $Nn = \frac{NAn \times AN}{sen\, ANB}$. Esto es, que el error cometido en esta marcacion lo producirá, tanto menor en el lugar de la nave, quanto la distancia AN sea mas corta y el ángulo ANB mas

 pró-

próxîmo á recto. Por estos principios, combinando las ventajas y desventajas de las diversas circunstancias de las operaciones, y atendiendo á la posicion de la línea meridiana, podrán siempre elegirse las convenientes, para disminuir los errores que mas deban recelarse en cada caso.

167 Faltando dos puntos conocidos en situaciones convenientes, el lugar de la nave puede hallarse por el siguiente método.

Fig. 20. Desde B márquese el punto C, y, siguiendo despues con la exâctitud posible la direccion A B, márquese desde A segunda vez el punto C; y con esto y la distancia andada A B, que debe medirse con el mayor cuidado, se conocerá facilmente el lugar de la nave en qualquiera de las dos estaciones.

En efecto: en el triángulo ACB se tienen los ángulos A, B, y el lado A B, por la Aguja y Corredera; y por consiguiente, resolviéndolo, podrá determinarse el lado AC, por exemplo, y por este dato y la marcacion en A, la longitud y latitud de este punto, como ántes.

168 Quando se conoce exâctamente la latitud ó longitud de la nave, una sola marcacion basta para fixar su situacion.

En el triángulo rectángulo ACE se tiene entonces el ángulo ACE, igual al de la marcacion, y el

el lado CE, igual á la diferencia en latitud de A, y C, ó el lado A E igual á la diferencia en longitud entre los mismos puntos reducida á apartamiento de meridiano en la latitud de A (5). Asi, resolviendo el triángulo ACE, se averiguará el valor del lado desconocido; y, reduciendo en el primer caso A E á diferencia en longitud, se tendrá, por la del punto C, la longitud ó latitud de la nave.

169 En la Carta, se resuelve por construccion el mismo problema, tirando por C el rumbo de la marcacion, para tener en la interseccion de esta línea con el paralelo ó meridiano el verdadero lugar de la nave.

170 En este caso se vé (166), que llamando dA el error cometido en la longitud de la nave contada en su paralelo, y dL el de su latitud, se tiene $dA : dL = AE : EC$, esto es: Que el error resultante en el apartamiento ó latitud del cometido en la latitud ó apartamiento es, supuesto el ángulo de la marcacion exâcto, tanto mas considerable, quanto mayor sea el apartamiento, y menor la diferencia en latitud, en el primer caso, y al contrario en el segundo.

171 Del mismo modo se vé, que, quando las proxîmidades de las costas son sondables, y la profundidad ó calidad del fondo varía con suficiente

ra-

rapidéz, una sola marcacion al tiempo de echar la sonda determina el actual lugar de la nave.

172 Quando se tiene la distancia AC, tambien basta una marcacion, para determinar el lugar A; porque entonces, en el triángulo rectángulo ACE se tiene la hipotenusa AC, y ángulo igual al de la marcacion C; con cuyos datos se averiguará facilmente la diferencia en latitud CE, y apartamiento AE.

173 En este caso, conservando las denominaciones de arriba (170), y llamando dD el error de la distancia, se tendrá tambien $dD : dA : dL = AC : AE : EC$; con lo qual y lo establecido anteriormente, será facil determinar el método que debe preferirse.

174 En la práctica, estos problemas generalmente no se resuelven por el cálculo trigonométrico, y si por construccion, que se hace en las Cartas sin señalar las líneas, corriendo con una punta del compás el rumbo de la rosa de la marcacion paralelo ó meridiano que se requiere, de modo que la exterior describa una paralela á la direccion del movimiento de la otra, y viendo el punto en que concurren las de dos compases. Esto ahorra el trabajo de tirar las líneas, y hace mas duraderas las Cartas; pero siempre será mejor, trazar con lapiz las fi-



figuras, y valerse de un semicírculo para indicar el rumbo exâcto que ordinariamente se toma á ojo, entre los mas próxîmos de la rosa.

175 Los Pilotos acostumbran estimar á ojo la distancia á que se hallan de la Tierra, y generalmente prefieren este método por mas facil, aún en las ocasiones en que podrían valerse de otros mas exâctos. Á la verdad, este uso en lo comun no acarrea graves inconvenientes, porque no lo son los errores que en estos casos pueden cometer los facultativos experimentados; pero, por punto general, nunca es disimulable el grado de precision que se pierde por pereza, y es bien seguro, que el que por habito desprecia pequeñas cantidades, comunmente no ha atendido para ello al influxo que tienen en los resultados, ni sabe responder, por consiguiente, de las conseqüencias á que se expone. Para evitar las de los errores en la distancia estimada groseramente, se ofrecen los siguientes métodos, que pueden tener su utilidad en muchos casos.

176 La curvatura de la Tierra nos presenta uno sumamente sencillo, quando se tiene á la vista un objeto conocido. El ojo O colocado en la superficie de la Tierra, solo vé los objetos superiores á la tangente DOB en O; y asi, si de una altura EM se le oculta la porcion BE, podrá inferir *Fig.* 21.

la

la distancia OE, por la resolucion del triángulo rectángulo OCB, en que conoce OC igual al radio de la Tierra, y la hipotenusa CB igual al mismo radio mas EB.

177 Si el ojo estuviese tambien elevado, como en D, y perdiese de vista una altura conocida EB, es claro, que la visual DB es tangente á la superficie de la Tierra; y que, hallando por el método antecedente las distancias que corresponden á la altura del objeto y á la del ojo, su suma será la distancia que los separa, medida en un círculo máxîmo de la esfera.

178 Por estos principios se han construido tablas, que dan inmediatamente las distancias á que se hallan las alturas que se pierden de vista, y en las instrucciones de la esquadra mandada por el Excelentísimo Sr. D. Luis de Córdova se halla una muy útil, para saber lo que distan los buques de nuestra Armada, por la parte que se les descubre.

179 La velocidad del sonido es otro medio muy facil, para averiguar las distancias de los objetos. Todo el mundo sabe, que el ruido de un golpe dado á cierta distancia llega siempre á nuestro oido algun tiempo despues de haberlo visto; y de aqui podría naturalmente concluirse, que la impresion de qualquiera apariencia en nuestros ojos es ins-

instantánea, pero que el sonido se mueve con una velocidad perceptible. Lo primero no es exâctamente verdadero, porque, segun el admirable descubrimiento del dinamarqués Roemer, el rayo de luz que parte del Sol en sus distancias médias tarda en llegar á la Tierra unos ocho minutos. Pero esto no produce diferencia sensible en los objetos de que tratamos, y el tiempo que media entre la vista de su causa y el sonido puede dar la distancia del lugar de donde viene, atendiendo á los siguientes resultados de las repetidas experiencias de los físicos.

1.° La velocidad del sonido es la misma en la tierra ó en la mar, en tiempo seco ó humedo, en calma ó en borrasca, con viento transversal ó sin él, de dia ó de noche, en invierno ó en verano.

2.° La velocidad con que el sonido llega á un observador es la misma, aunque la direccion de su causa parezca contraria: por exemplo, disparando un cañon con la boca ácia él ó ácia la parte opuesta.

3.° La velocidad del sonido no varía, porque este sea mas ó menos fuerte.

4.° La velocidad del sonido, tambien es la misma en todas las regiones del globo y alturas de la atmósfera.

5.° El tiempo que el sonido tarda en llegar es proporcional á la distancia.

6.° El sonido se anticipa ó atrasa de una cantidad igual á la velocidad del viento, segun este es favorable ó contrario al movimiento del sonido.

7.° La velocidad natural del sonido es próxîmamente de 175 toesas, ó de 408 varas castellanas.

Asi, notando en un buen relox, por exemplo, que, desde que se inflamó la polvora hasta oir el ruido de un cañonazo tirado en otro buque, se pasaron $3''\frac{1}{2}$, resultará, que aquel se hallaba á la distancia de 1428 varas. Médio muy útil para no padecer equivocaciones en una esquadra.

RESOLUCION DE LOS PROBLEMAS generales de la Navegacion por las Cartas y cálculo de partes meridionales.

180 La resolucion de todos los problemas de la Navegacion se reduce, como hemos visto, á la de los dos triángulos LAX, LCB, que por los principios de su construccion se forman facilmente en las Cartas reducidas. Asi, al mismo paso que manifestemos el uso de estas Cartas, aplicarémos el cálculo á los mismos casos: indicando tambien el mo-

Fig. 17.

modo de cartear ó hacer las operaciones en la Carta plana.

181 1.º *Dadas las situaciones de dos puntos, hallar el rumbo que conduce de uno á otro, y la distancia que, siguiéndolo, los separa.*

Resolucion.

182 *Por la Carta esférica.* Suponiendo que L, y *l* sean los dos lugares, y tirando la línea L*l*, el ángulo *l*L*m*, que forma con el meridiano L*m*, será el rumbo que se pide. *Lam. I. Fig. 17'.*

Puede dexar de medirse el ángulo *l*L*m*, viendo que rumbo de la rosa le es paralelo.

Tirando despues por *l* una porcion de paralelo *lm*, el triángulo L*lm* corresponderá al LBC de la fig. 17. Para trazar, pues, por este el otro LXA: tómese de L á *m* una parte LM igual al número de grados de la diferencia en latitud, contada en la escala de partes iguales, esto es, en la de las longitudes, y por M tírese la línea MP paralela á la direccion éste-oéste *lm*: la línea LP, medida en la escala de partes iguales, dará un número de grados y minutos, que, convertidos en leguas, expresará la distancia que se pide.

Como $LM : Lm = PM : lm = LP : Ll$, la me-

dida natural de la distancia aumentada L*l*, ó diferencia en longitud *lm*, es la porcion de meridiano graduado comprehendido entre los paralelos de L, y *l*, esto es, que la distancia verdadera ó el apartamiento de meridiano serán iguales al número de grados de aquel intervalo multiplicado, tantas veces, quantas está contenido en L*l*, ó *lm*, tomando veinte leguas por cada grado, ó una milla por cada minuto. En el uso ordinario, se traslada qualquiera distancia, como L*l*, á la escala del meridiano, de modo que un extremo *l* quede, tantos grados mas arriba del paralelo ó latitud media, quanto está mas abaxo el otro extremo L (esto se hace con la abertura de un compás): y por el número de grados que abraza, se deduce su valor en leguas ó millas.

Esta práctica no es rigorosamente exâcta, porque, como se vé, la porcion superior al paralelo de *l* está aumentada en mayor razon que la que conviene para compensar la menor magnitud de la inferior al paralelo de L, pero su uso es tolerable en los espacios y Cartas de cortas dimensiones. Para hallar á la primera ojeada el número de leguas ó millas correspondientes, en las Cartas esféricas, contigua al meridiano dividido, se traza otra escala, que contiene cada grado expresado en partes iguales contadas desde un cierto término é indicadas

das por números segun su orden. La Carta del primer libro tiene una escala construida de este modo.

Si los dos lugares L, *l* estuviesen en el mismo paralelo, es claro, que el rumbo sería el éste-oéste.

Para hallar entonces las leguas de la distancia: tírese una línea LR, formando con el paralelo un ángulo *l*LR igual á la latitud de éste, señálese en ella una cantidad LR igual á la diferencia en longitud tomada en la escala de partes iguales; y conduciendo R*l* segun la direccion norte-sur, L*l* medida en la escala de las longitudes, y convertida en leguas ó millas, será en este caso la distancia. *Lam. I. Fig. 18.*

183 *Por el cálculo de partes meridionales.* El mismo problema se resolverá mas exâctamente por el cálculo, siguiendo las siguientes reglas.

La diferencia en latitud en partes meridionales (que puede tomarse en la tabla), ó su suma si las latitudes son de denominacion contraria, es á la diferencia en longitud reducida á minutos: como el radio, á la tangente del rumbo.

El coseno del rumbo, al radio: como el número de leguas ó millas equivalente á la diferencia en latitud, á la distancia expresada en la misma unidad.

184 *En la Carta plana.* El mismo ángulo *l*L*m*, ó el de la rosa paralelo á L*l*, será el rumbo;

bo; y Ll medida en leguas dará las que contiene la distancia.

185 2.° *Conocidos la situacion del punto de salida, el rumbo seguido, y la distancia andada, hallar la latitud y longitud del lugar llegado.*

Resolucion.

186 *Por las Cartas esféricas.* Por el punto de salida (que indicarémos siempre por L) tírese una línea Ll, cuyo ángulo con el meridiano Lm sea igual al del rumbo. Tómese en la escala de partes iguales un interválo igual al número de grados que componen las leguas caminadas, y, trasladándolo de L á P, condúzcase por P la porcion de paralelo PM; con lo qual, LM, medida en la escala de partes iguales, dará la diferencia en latitud en grados y minutos.

Lam. I. Fig. 17.

Para tener despues la longitud: cuéntese esta diferencia de latitud en el meridiano graduado, desde el paralelo de la salida ácia l, ó en el sentido del rumbo: y el paralelo tirado por el punto en que se termine encontrará la prolongacion de LP en el punto de la llegada [1] (que tambien indicarémos siempre por l, ó l').

Si

(1) Explicada la construccion de las Cartas, parece ocioso añadir, que la latitud y longitud de qualquiera punto en ella

Si el rumbo seguido fuere el éste-oéste, para hallar la longitud se hará una operacion inversa á la prescripta ántes (182). Esto es: tómese en la escala de las longitudes el número de grados correspondientes al de las leguas andadas (Lam. I. fig. 18), trasládese de L á *l*, y por *l* tírese la línea norte-sur *l*R: tírese tambien la LR, cuyo ángulo *l*LR con el paralelo corrido L*l* sea igual á la latitud de éste; y su punto de interseccion con *l*R determinará una porcion LR, que, medida en la escala de partes iguales, dará la diferencia en longitud, ó trasladada de L á *l'* fixará el lugar llegado.

187 *Por el cálculo de partes meridionales.* El radio, es al número de leguas de la distancia: como el coseno del rumbo, al camino hecho segun la direccion norte-sur. Reducido este á grados y minutos, quedará la diferencia en latitud.

El radio, á la tangente del rumbo: como la diferencia ó suma de las latitudes (segun sean del mismo ó de contrario nombre) en partes meridionales, á la diferencia en longitud.

188 *En la Carta plana.* Tirando por L la línea

ella es la que en la escala de las latitudes ó longitudes señala el paralelo ó meridiano tirado ó imaginado por el mismo punto.

nea Ll segun el rumbo seguido, y trasladando de L á l el número de leguas andadas, ó lo que es lo mismo, el de grados de latitud á que equivalen, el punto l será el punto llegado.

189 3.° *Conociendo la situacion del punto de salida, el rumbo, y la latitud llegada, hallar la distancia andada, y el lugar llegado.*

Resolucion.

Por las Cartas reducidas. Tírese la línea Ll, que forme con la norte-sur Lm el ángulo del rumbo lLm. De L ácia m ó en sentido contrario, segun el rumbo aumente ó disminuya la latitud, trasládese la diferencia en latitud LM tomada en la escala de las longitudes; y, tirando por M la porcion de paralelo MP, mídase LP en la misma escala; lo que dará un número de grados que, convertidos en leguas, manifestará las que contiene la distancia.

Tirando despues por el punto de la latitud llegada, contada en el meridiano graduado, un paralelo, su interseccion con la direccion LP fixará el lugar de la llegada.

Si las latitudes salida y llegada fuesen iguales, esto es, si el rumbo seguido fuese el éste-oéste, los

los datos de la qüestion no bastarían para resolverla.

190 *Por el cálculo de partes meridionales.* El coseno del rumbo es, al radio: como la diferencia en latitud reducida á leguas ó millas, á la distancia expresada en la misma unidad.

El radio, á la tangente del rumbo: como la diferencia ó suma de las latitudes salida y llegada (segun sean del mismo ó de contrario nombre) en partes meridionales, á la diferencia en longitud.

191 *En la Carta plana.* Tomando en el meridiano que pasa por L una porcion igual al número de leguas ó millas que contiene la diferencia ó suma de las latitudes, el punto P, determinado por la interseccion del paralelo MP y el rumbo, es el lugar llegado.

192 4.° *Por la situacion del punto de salida, la distancia andada, y la latitud llegada, hallar el rumbo, y el lugar llegado.*

Resolucion.

193 *Por las Cartas esféricas.* En el meridiano tirado por el punto L, señálese una porcion LM igual al número de grados y minutos de la diferencia ó suma de las latitudes (segun sean del mismo ó

de contrario nombre), tomada en la escala de partes iguales. Tírese por M un paralelo, y córtese en un punto P, por un arco descripto desde L como centro, y con un radio LP igual al número de leguas de la distancia andada, reducida á grados y minutos en la escala de partes iguales. El ángulo MLP, ó el de la rosa paralelo á LP, dará el rumbo que se pide.

Por el punto de la latitud llegada, contada en el meridiano, tírese un paralelo, y este cortará la prolongacion de LP en el punto de llegada.

Si las latitudes salida y llegada fuesen iguales se resolverá el problema como ya explicamos (186).

194 *Por las partes meridionales.* El número de millas de la distancia, es á la diferencia ó suma de las latitudes reducida á millas: como el radio, al coseno del rumbo.

El radio, á la tangente del rumbo: como la diferencia ó suma de las latitudes salida y llegada en partes meridionales, á la diferencia en longitud.

195 *En la Carta plana.* Siguiendo la primera parte, de la operacion prescripta (193), P es el lugar llegado, MLP el rumbo, y PM se mide en la escala del meridiano.

196 Las qüestiones inversas á la 3ª y 4ª pueden tambien proponerse, y pedir la distancia ó rum-

bo,

bo, y el punto llegado ó su latitud, supuesto que su longitud sea conocida. El primer problema se resuelve por los mismos principios que los antecedentes. Pero, para el segundo, es necesario recurrir á las falsas posiciones ó aproxîmaciones; porque, como es claro, se ignora en que razon debe aumentarse la distancia LP, para formar, con la diferencia en longitud, el triángulo Llm. El Doctor Halley considera este problema como el único que falta para hacer completa la teórica de la analogía entre los logarithmos de las tangentes y la línea meridiana (17): siendo probable, dice, que su solucion aclare aún mas los misterios de la Geometría, y Mr. Lyons ha hallado una analítica muy elegante, que se encuentra en el Almanak náutico de 1772 con dos tablitas construidas por sus fórmulas para facilitar la práctica. Pero como en la del Pilotage ambos problemas son inútiles, porque generalmente toda la incertidumbre recae en la longitud, las omitirémos con las demás reglas que podian observarse en estos casos, que solo hemos mencionado para indicar todos los posibles.

197 Llamando r, y R dos diferentes rumbos seguidos entre los mismos paralelos, y l, L las diferencias en longitud contraidas en ellos, se tendrá: (190) el radio es á la diferencia ó suma de las la-

titudes salida y llegada en partes meridionales $= \text{tang.}r : l = \text{tang.R} : L$, esto es, que las diferencias en longitud correspondientes á la misma diferencia en latitud son como las tangentes de los rumbos.

198 De aquí se sigue, que la diferencia en longitud es (16) siempre igual al producto de la diferencia en latitud en partes meridionales por la tangente del rumbo. Y como la primera cantidad no es otra cosa que la diferencia (24) de los logarithmos hiperbólicos de las cotangentes de los semicomplementos de las latitudes dividida por .... 0,000290882, ó las diferencias de los mismos logarithmos (25) comunes dividida por 0,0001263 &c., la operacion de hallar la diferencia en longitud en nuestro problema se reduce, á tomar la de dichos logarithmos, dividirlos por el número correspondiente, y multiplicar el qüociente por la tangente del ángulo del rumbo.

Representando, pues, por $L - l$ la diferencia de dichos logarithmos en las tablas, y r el rumbo, tendrémos la diferencia en longitud igual á $(L - l) \times \frac{\text{tang } r}{0{,}0001263 \text{ \&c.}}$; de donde resulta, que quando tang.r sea igual á 0,0001263 &c., ó el rumbo de 0° ó 26″, la misma diferencia de los logarithmos expresará en millas la diferencia en longitud cor-

correspondiente. En el caso tambien de que tang.r $=0{,}001263$ &c., ó el rumbo de 0° 4′ 20″,5, L—l multiplicado por 10, ó la diferencia de los logarithmos, adelantando la virgulilla un lugar á la derecha, expresará la diferencia en longitud. Y del mismo modo se verá, que, adelantando la virgulilla dos lugares, la diferencia de dichos logarithmos expresará la diferencia en longitud contraida por el rumbo de 43′ 25″,5: que, adelantándola tres lugares, el rumbo será de 7° 12′ 0″: que, si además de la caracteristica, se toman quatro cifras como enteros, el rumbo cuya variacion en longitud indique será el de 51° 38′ 9″: y asi en adelante, en los rumbos de 85° 28′ 37″, 89° 32′ 47″, y 89° 57′ 17″.

199. Por el mismo camino se hallarán tambien los rumbos que tienen igual correspondencia con los hiperbólicos ó qualquiera otra especie de logarithmos. Y estos principios generales, como se vé, son aplicables á todos los problemas del Pilotage, para resolverlos por los de Wright, substituyendo las tablas logarithmicas á las de partes meridionales.

200 Las construcciones de todos los problemas anteriores, pueden executarse con compases, sin señalar las líneas, como ya indicamos (174).

RE-

RESOLUCION DE LOS PROBLEMAS de la Navegacion por los principios ordinarios.

201 Los mismos problemas se resuelven, empleando el paralelo médio, por las siguientes analogías, que resultan de los principios establecidos.

202 1.° *Conocidas las situaciones de dos puntos, hallar el rumbo que conduce de uno á otro, y la distancia que, siguiéndolo, los separa.*

Resolucion.

El radio es, al coseno de la latitud média entre los dos lugares: como la diferencia en longitud de los mismos, al apartamiento de meridiano (154).

La diferencia en latitud (146), al apartamiento de meridiano hallado: como el radio, á la tangente del rumbo.

El seno del rumbo, al radío: como el apartamiento de meridiano, á la distancia (146).

203 2.° *Dados la situacion del lugar de la salida, el rumbo seguido, y la distancia andada, hallar la latitud y longitud del lugar llegado.*

Resolucion.

El radío, es al coseno del rumbo: como la distancia, á la diferencia en latitud (146).

El

El radío, al seno del rumbo: como la distancia, al apartamiento de meridiano (146).

El coseno de la latitud média, al radio: como el apartamiento de meridiano, á la diferencia en longitud (154).

204 3.° *Dados la situacion del punto de salida, el rumbo, y la latitud llegada, hallar la distancia corrida, y el lugar llegado.*

Resolucion.

El coseno del rumbo, es al radío: como la diferencia en latitud (146), á la distancia.

El radio, á la tangente del rumbo: como la diferencia en latitud, al apartamiento de meridiano (146).

El coseno de la latitud média, al radio: como el apartamiento de meridiano, á la diferencia en longitud (154).

Ó, para hallar esta mas directamente, hágase:

El coseno [1] (154, 146) de la latitud média, á la diferencia en latitud: como la tangente del rumbo, á la diferencia en longitud.

205 4.° *Conociendo la situacion del punto de sa-*

(1) Cos. lat. med.: R = apart.: difer. long. (fig. 17), R: difer. lat. = tang. rumbo: apart.; luego, cos. lat. média : difer. lat. = tang. rumbo : difer. long.

salida, la distancia andada, y la latitud llegada, hallar el rumbo, y el lugar llegado.

La distancia andada, es á la diferencia en latitud : con el radio, al coseno del rumbo (146).

El radio, al seno del rumbo hallado : como la distancia, al apartamiento de meridiano (146).

El coseno de la latitud média, al radio : como el apartamiento, á la diferencia en longitud (154).

O mas directamente :

El coseno de la latitud média, al seno del rumbo: como la distancia, á la diferencia en longitud [1].

206 Parece ocioso advertir, que, dado el punto de salida y llegada, y la diferencia en latitud ó longitud por alguno de los problemas anteriores, se tendrá inmediatamente la latitud ó longitud llegada (Princip. Geogr. 105, 107): y que al contrario, conocido qualquiera de aquellos términos en ambos puntos, se tendrá tambien su diferencia (P. G. 104, 106), como ya indicamos.

207 Las reglas de las resoluciones anteriores pue-

(1) (146) Difer. lat. : cos. rumbo = distancia : R; pero cos. rumbo $= \frac{R \times sen.\ rumbo}{tang.\ rumbo}$; luego substituyendo, difer. latitud: $\frac{R \times sen.\ rumbo}{tang.\ rumbo}$ = distanc. : R, y distanc. × sen. rumbo = difer. lat. × tang. rumbo; lo que, substituyendo en la analogía de la nota antecedente, da cos. lat. med. : sen. rumbo = dist. : difer. long.

pueden practicarse por varios medios que facilitan las construcciones ó cálculo: y en general son útiles á este objeto todos los instrumentos trigonométricos, pero no nos detendrémos en describirlos, porque los suponemos conocidos, y porque el uso de la mayor parte de ellos se ocurrirá á primera vista. Los ingleses emplean generalmente la escala de Gunter (llamada asi por su inventor Edmundo Gunter, Profesor de Astronomía en el Colegio de Gresham), y la tabla que titúlan *Traverse Table*, y los Pilotos españoles y franceses dan esta preferencia al *Quartier* ó Quadrante de reduccion. Pero la eleccion de tales medios es materia bastante indiferente, y operando con exâctitud y sobre buenos principios, que es lo que importa, cada uno podrá adoptar el que le parezca mas expedito ó manejable.

DE LAS DERROTAS COMPUESTAS.

208 Aunque en los problemas antecedentes solo hemos considerado un rumbo directo y una distancia, es claro, que los mismos principios bastan para resolver los casos en que haya varios rumbos y distancias corridas, hallando el lugar llegado á cada estacion, y por el último, si se quiere, su relacion inmediata con el punto de salida, ó el rum-

bo y la distancia directa entre uno y otro. Esto podrá hacerse con claridad, formando una tabla con varias columnas en que se apunten los rumbos, distancias andadas, diferencias en latitud al N ó S, apartamientos de meridiano al E ú O, latitudes salidas, latitudes llegadas, partes meridionales correspondientes y diferencias de las mismas, ó, valiéndose del paralelo médio, las latitudes médias y diferencias en longitud calculadas al E ú O: con lo qual, sumando aparte las diferencias en latitud y longitud del mismo nombre, y restando la menor de la mayor, quedará la diferencia en latitud y longitud total.

209 Un navio, por exemplo, salió de la latitud

Rumbos.	Dist.	Difer. de latitud.		Apar. de merid.		Latit. llegada.	Partes meridion.	Dif. de Latitud meridion.	Diferencia en longitud.	
		N	S	E	O				E	O
						67 30′	5551,6			
N E	64	45,3		45,3		68...15	5671,1	119,5	119,5	
N N E	50	46,2		19,1		69...01	5797,3	126,2	52,4	
N O ¼ N	58	48,2			32,2	69...49	5933,9	136,6		91,1
O N O	72	27,6			66,5	70...17	6016,0	82,1		198,6
O	48				48,0	70...17	6016,0	00,0		142,
S S O	38		35,1		14,5	69...42	5913,7	102,3		42,4
S ¼ S E	45		44,1	8,8		68...58	5789,0	124,7	24,8	
E S E	40		15,3	36,9		68...43	5747,4	41,6	100,7	
		167,3	94,5	110,1	161,2				297,4	474,1
Difer. de latitud total. 72,8			Apart. de meridian. 51,1			Diferencia en longitud total. 176,7				

tud de 67° 30′ N y la longitud de 3° 10′ O, y anduvo las distancias y siguió los rumbos indicados: ¿Quál es el lugar de su llegada?

Este punto está en la latitud de 68° 43′ N, y la longitud de 6° 7′.

210 Otro Navio salió de la latitud de 38° 14′ N, y longitud de 30° 25′ O, y corrió por los rumbos y distancias que se indicarán despues ¿Quál es el punto llegado?

Rumbos.	Dist.	Difer. en Latitud.		Apar. de merid.		Latitud salida.	Latitud llegada.	Latitud media.	Dif. en longitud.	
		N	S	E	O				E	O
NE 8° $\frac{1}{2}$ N	56	45,0		33,4		38°..... 14′	38°..... 59′	38°..... 36′	43	
NNO	38	35,1			14,5	38..... 59	39..... 34	39..... 16		19
NO $\frac{1}{4}$ O	46	25,6			38,2	39..... 34	40..... 00	39..... 47		50
SSE	30		27,7	11,5		40..... 00	39..... 32	39..... 46	15	
S $\frac{1}{4}$ SO	20		19,6		3,9	39..... 32	39..... 12	39..... 22		5
NE $\frac{1}{4}$ N	60	50,0		33,3		39..... 12	40..... 02	39..... 37	43	
		155,7	47,3	78,2	56,6				101	74
Difer. en latitud...		108,4	Apart. de meridian.. 21,6			Difer. en longitud........			27	

Luego el lugar que se pide está en la latitud de 40° 2′ N, y la longitud de 29° 58′ O.

211 Para ahorrarse el trabajo de repetir las mismas operaciones con cada rumbo, los Pilotos

acostumbran reducirse á las primeras seis columnas, y hallar la diferencia en longitud correspondiente á la diferencia entre las sumas de apartamientos E y O, en el paralelo médio determinado por la diferencia en latitud total. De este modo, en el exemplo antecedente, la latitud média 39° 8′ dará la diferencia en longitud que se busca de 0° 28′ E, y la diferencia en latitud y apartamiento de meridiano total el rumbo directo N ¼ N E, y la distancia de 111 millas.

212 Pero esta práctica carece de exâctitud, como se echa de ver con solo considerar el caso de dos rumbos, uno en la línea norte-sur, y otro en la éste-oéste; pues entonces se reduce el apartamiento de meridiano á diferencia en longitud (154) en un paralelo que dista del verdadero de toda la mitad de la diferencia en latitud contraida. Los errores, pues, que se cometan serán, tanto mayores, quanto mas se acerquen á aquel caso, esto es, quanto mas próxîmos estén unos rumbos al meridiano y otros al paralelo, y que al mismo tiempo las latitudes sean mas altas, y las diferencias en latitud mas considerables. Esto se vé en los dos exemplos anteriores, de los quales, el primero daría por las operaciones comunes 137 millas de diferencia en logitud, quando en el segundo el error

es

es de un minuto. Por esta razon, deberán siempre atenderse á las circunstancias que puedan hacer defectuoso el método ordinario, para recurrir á otro mas exâcto, aunque sea en la reduccion de los rumbos seguidos en uno ó dos dias, que es lo que se acostumbra.

213 Tratando de las derrotas compuestas, notarémos, que, quando los dos puntos se hallan muy distantes, la diferencia del camino por la loxôdrómia al mas corto podría considerarse, y seguir las direcciones que mas se aproxîman al arco del círculo máxîmo que lo mide, sin tropezar en el inconveniente de la complicacion y embarazo de la práctica. Para esto, puede proponerse el mudar de rumbo á cada 5° de diferencia en longitud, por exemplo, y seguir en cada uno de estos puntos el que conduce al otro del círculo máxîmo que pasa por los lugares de salida y de llegada, con lo que se acortará la distancia que se andaría por la loxôdrómia.

214 La resolucion de aquel problema supone la de este otro.

Dadas las latitudes y longitudes, ó diferencia en longitud de dos lugares, hallar su menor distancia en la superficie de nuestro globo, y el ángulo de posicion de cada uno, esto es, el ángulo que forma en él el meri-

ridiano con el arco de círculo máximo conducido por los dos lugares.

Lo que, como se vé, se reduce á la qüestion de trigonometría esférica en que dados dos lados, que aqui son los complementos de ambas latitudes, y el ángulo comprehendido, esto es, el formado en el polo por los meridianos, se trata de averiguar el tercer lado, y uno de los otros ángulos.

215 Hallado, pues, el ángulo de posicion del lugar de la salida, el arco perpendicular tirado del polo al de la distancia mas corta, y el ángulo polar formado por este arco y el meridiano de la salida, se tendrán facilmente las latitudes sucesivas de los puntos de aquella distancia en que la diferencia en longitud es igual á una cantidad dada, por esta proporcion:

La tangente del arco perpendicular, es al radio: como el coseno del ángulo polar formado por el arco perpendicular y meridiano de la estacion, á la tangente de la latitud de esta.

216 Una embarcacion que, pasadas las islas Canarias, viaja á las Antillas, habiendo tomado, por exemplo, su punto de salida en 27° 30′ de latitud N, y 10° 55′ de longitud de Cadiz, quiere saber en que latitudes debe mudar de rumbo, para no desviarse mucho de la distancia mas corta, al-

alterando la derrota á cada cinco grados de diferencia en longitud, hasta llegar á la latitud N de 17° 45′, y la longitud de 55° 8′.

Longitudes de las estaciones.	Angulos polares.	Latitudes sucesivas.
15°.... 55′	13°..... 20′	27°.... 8′
20...... 55	18...... 20	26..... 32
25..... 55	23...... 20	25..... 47
30..... 55	28...... 20	24..... 51
35..... 55	33...... 20	23..... 44
40..... 55	38...... 20	22..... 26
45..... 55	43...... 20	20..... 56
50..... 55	48...... 20	19..... 17

217 Este método no debería despreciarse, quando los inevitables errores de la estima permitiesen practicarlo con ventaja.

DE LAS CORRECCIONES QUE DEBEN aplicarse á los resultados de los métodos anteriores, por razon del aplanamiento de la Tierra.

218 En los problemas antecedentes hemos considerado la superficie de la Tierra como perfectamente esférica; y, por consiguiente, para proceder con rigor, es necesario despejar sus resultados de los errores que dimanen de aquella falsa suposicion. La verdadera figura de nuestro globo nos es aún desconocida, pero sabemos (P. A. 361) que no difiere mucho de la esférica, y haciéndola elíptica, es probable, que las inexâctitudes que pueden cometerse son del todo despreciables para nuestro objeto. Sobre estos principios, pues, exâminarémos con Mr. Bezout las correcciones que deben aplicarse á las latitudes y longitudes deducidas por los métodos anteriores.

Fig. 22. 219 Sea *p*EP la elipse de un meridiano de la Tierra, cuyo semiexe mayor CE es el radio del equador, y el exe menor P*p* el de nuestro globo. Por todos sus puntos concíbanse perpendiculares, como RI, á la elipse, y las intersecciones de estas perpendiculares, que representan las verticales de los correspondientes lugares, formarán la evolu-

ta

ta AIB, y RI &c. serán, por consequencia, los radios de curvatura de la elipse. Representémos ahora por a el radio EC del equador, por b la mitad del exe pP, y sea x una abcisa qualquiera CQ, é y el radio QR del paralelo de R. *Fig.* 23.

Por la equacion de la elipse tendrémos $y = \frac{a}{b}\sqrt{(b^2 - x^2)}$, y tomando el arco RS infinitamente pequeño, $RS = dx\sqrt{\left(\frac{b^4+(a^2-b^2)x^2}{b^2(b^2-x^2)}\right)}$. El radio de curvatura en R tambien es .... $= \frac{\left(b^4+(a^2-b^2)x^2\right)^{\frac{3}{2}}}{ab^4}$.

Representando por k el seno de la latitud RP′E, en los triángulos semejantes RtS, $RP'm$ tendrémos, $Rt : St = Rm : mP'$, esto es, $-dy : dx = k : \sqrt{(1-k^2)}$, ó lo que es lo mismo, $\frac{axdx}{b\sqrt{(b^2-x^2)}} : dx = k : \sqrt{(1-k^2)}$, y por consiguente, $k = \frac{ax\sqrt{(1-k^2)}}{b\sqrt{(b^2-x^2)}}$, y $x^2 = \frac{k^2b^4}{a^2-(a^2-b^2)k^2}$. Deduciendo de esta equacion el valor de dx, y substituyéndolo, como tambien

bien el de x^2, en los de y, RS, y RI resultará:

$$y = \frac{a^2\sqrt{(1-k^2)}}{\sqrt{\left(a^2-(a^2-b^2)k^2\right)}},$$

$$RS = \frac{a^2 b^2 dk}{\sqrt{(1-k^2)}\times\left(a^2-(a^2-b^2)k^2\right)^{\frac{3}{2}}},$$

$$\text{y } RI = \frac{a^2 b^2}{\left(a^2-(a^2-b^2)k^2\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

Reduciendo á série, por la fórmula del vinómio, la expresion $\left(a^2-(a^2-b^2)k^2\right)^{-\frac{3}{2}}$, y limitándonos á los dos primeros términos, tendrémos $\frac{1}{a^3} + \frac{3}{2}\times\frac{a^2-b^2}{a^5}k^2$, y substituyendo este valor en el de RS, $RS = \left(\frac{b^2 dk}{a} + \frac{3}{2}b^2\times\frac{a^2-b^2}{a^3}k^2dk\right)(1-k^2)^{-\frac{1}{2}}$. De donde, integrando por las reglas ordinarias, resulta $RS = -d\left(\frac{3}{4}\cdot\frac{b^2}{a^3}(a^2-b^2)k\sqrt{(1-k^2)}\right) + \left(\frac{b^2}{a} + \frac{3}{4}\cdot\frac{b^2}{a^3}(a^2-b^2)\right) \times \frac{dk}{\sqrt{(1-k^2)}}$.

Supongamos ahora $b = a - ma$, haciendo m igual al aplanamiento, y substituyamos este valor, despre-

cian-

ciando, por ser m muy pequeña en qualquiera hipótesis, todas las potencias de m, y con esto quedará $RS = -d\left(\frac{3}{2} mak\sqrt{(1-k^2)}\right) + (a - \frac{1}{2} ma)$ $\times \frac{dk}{\sqrt{(1-k^2)}}$.

Los radios de curvatura en los puntos E y P de la elipse son iguales á $\frac{b^2}{a}$, y $\frac{a^2}{b}$, ó, poniendo por b su valor $a - ma$, á $a - 2ma$, y $\frac{a}{1-m}$, ó $a - 2ma$, y $a + ma$. La mitad de la suma de estas dos cantidades $a - \frac{1}{2} ma$ es el coeficiente de *Fig.* 22. $\frac{dk}{\sqrt{(1-k^2)}}$; luego, tirando Cq paralela á IS, y atendiendo á que la cantidad CD que se toma por el radio de la Tierra supuesta esférica es media entre el mayor y menor radio de curvatura, resulta $(a - \frac{1}{2} ma) \times \frac{dk}{\sqrt{(1-k^2)}} = Qq = d\,(DQ)$. Con lo que tendrémos RS ó $d\,(ER) = -d\left(\frac{3}{2} mak\sqrt{(1-k^2)}\right) + d\,(DQ)$, é integrando, $ER = -\frac{3}{2} mak\sqrt{(1-k^2)} + DQ$, ó $DQ - ER = \frac{3}{2} mak\sqrt{(1-k^2)}$: cantidad á que no hay constante que añadir, porque quando $k = o$, las cantidades DQ y ER son tambien nulas.

Tomando ahora por unidad el radio CD, tendrémos $a - \frac{1}{2} m a = 1$, y $a = \frac{1}{1 - \frac{1}{2} m} = 1 + \frac{1}{2} m$, y por consiguiente $m a = m + \frac{1}{2} m^2 = m$; de lo que resulta $DQ - ER = \frac{3}{2} m k \sqrt{(1 - k^2)} = \frac{3}{2} m \times$ sen. latitud $\times$ cos. latitud; y suponiendo el aplanamiento de $\frac{1}{179}$, (1) $DQ - ER = \frac{3}{358}$ sen. lat. $\times$ cos. latit. Esto es, *que, para tener en partes del radio la diferencia entre el arco que mide una latitud propuesta en la Tierra supuesta esférica, y el que mide la misma latitud atendiendo á su elipticidad, deben tomarse los* $\frac{3}{358}$ *del producto del seno de la latitud por el coseno de la misma.*

220 Para tener la misma correccion en minutos ó millas, que es mas cómodo, no hay mas que dividir aquella cantidad por 0,00029 &c. lo que dará, correccion de la latitud $= 28',9$ seno latitud $\times$ cos. latitud.

221 En quanto á la correccion de la longitud, es facil ver, que, expresando por a' el ángulo del rum-

(1) Este aplanamiento nos parece excesivo (vease la seccion de la figura de la Tierra en la Astr.); pero como su cantidad es bastante arbitraria continuamos el que adopta Mr. Bezout, pues á qualquiera le será facil substituir en su lugar el que prefiera.

rumbo, el apartamiento de meridiano contrahido con la variacion en latitud RS será $= R \times tang.a'$, y por consiguiente, la diferencia en longitud correspondiente $dz = \frac{RS \times tang\ a'}{y}$, ó substituyendo los valores hallados, $dz = \frac{b^2\, dk\, tang\ a'}{(1-k^2)\left(a^2-(a^2-b^2)\,k^2\right)}$ $= \left(\frac{dk}{1-k^2} - \frac{(a^2-b^2)\,dk}{a^2-(a^2-b^2)\,k^2}\right)$ tang a'. Pero $\frac{dk\ tang\ a'}{1-k^2} = \frac{d\ sen\ lat\ tang\ a'}{cos^2\ lat}$ es evidentemente la diferencial de la longitud en la suposicion de la Tierra esférica; luego, representándola por dz', tendrémos $dz' - dz = \frac{(a^2-b^2)\,dk\ tang\ a'}{a^2-(a^2-b^2)\,k^2}$, é integrando, la correccion de la longitud ó $z'-z$ $= \int \frac{(a^2-b^2)\,dk.tang\ a'}{a^2-(a^2-b^2)\,k^2}$.

Haciendo, pues, $k\sqrt{(a^2-b^2)} = au$; tendrémos $\int \frac{(a^2-b^2)\,dk\ tang\ a'}{a^2-(a^2-b^2)\,k^2} = \int \frac{\sqrt{(a^2-b^2)}}{a}$ $\times \frac{du\ tang\ a'}{1-u^2}$. De donde resulta, que la correccion de la longitud es igual á $\frac{\sqrt{(a^2-b^2)}}{a}$ multi-

tiplicado por la longitud correspondiente á la latitud cuyo seno u es igual á $\frac{k\sqrt{(a^2-b^2)}}{a}$.

Tomando tambien el aplanamiento de $\frac{1}{179}$, será $\sqrt{\left(\frac{a^2-b^2}{a}\right)} = \sqrt{\frac{2}{179}}$ proxîmamente; y, por conseqüencia, dicha correccion será igual á esta cantidad, multiplicada por la longitud correspondiente á la latitud cuyo seno es u.

222 Por estos principios Mr. Bezout ha calculado la tabla siguiente, que contiene las correcciones que deben aplicarse, tanto á la latitud, como á la longitud calculadas en la suposicion de la Tierra esférica, y que son siempre substractivas. Las correcciones de la longitud son para el rumbo de 45°, esto es, las correcciones que convienen á las latitudes crecientes; y asi, siempre que hayan de emplearse para qualquier otro, deberán multiplicarse por la tangente del rumbo, como manifiesta la expresion antecedente.

Ta-

Tabla de las correcciones que deben aplicarse á las latitudes simples y á las latitudes crecientes por la elipticidad de la Tierra.

Latitud.	Correccion de la latit. simple.	Latitud.	Correccion de la latit. creciente.
0	0′,0	0	0′,0
5	2,5	5	3,3
10	4,9	10	6,7
15	7,2	15	10,0
20	9,3	20	13,1
25	10,1	25	16,3
30	12,5	30	19,3
35	13,6	35	22,2
40	14,3	40	24,8
45	14,5	45	27,2
50	14,3	50	29,6
55	13,6	55	31,6
60	12,5	60	33,4
65	10,1	65	35,0
70	9,3	70	36,2
75	7,2	75	37,3
80	4,9	80	37,9
85	2,5	85	38,5
90	0,0	90	38,6.

LIBRO SEGUNDO.

SEGUNDA PARTE.

NAVEGACION ASTRONOMICA.

223 Basta considerar á bulto los elementos que entran en el cómputo de la estima, para mirar con horror los yerros que precisamente han de cometerse en ella, á ménos que una compensacion muy complicada y rara los desvanezca ó disminuya. Las corrientes, que por la mayor parte son desconocidas, y siempre variables en algunas de sus circunstancias, hacen sumamente defectuosa la medida de la Corredera. La agitacion de las Agujas, la dificil averiguacion de su exâcta variacion en la mar, y la del abatimiento, complicadas con aquella causa, dán tambien un conocimiento del rumbo, que, imperfecto por estas irremediables desventajas, suele con demasiada freqüencia serlo aún mas por el poco cuidado con que los timoneles compensan las guiñadas. El cúmulo de estos yerros, á que razonablemente no pueden señalarse límites, haría conservar al Piloto el lugar en que le cogió la noche, quando considerase alguna tierra ó escollo den-

tro

tro de la arbitraria esfera de su incertidumbre: y á pesar de todas las precauciones de la prudencia, si careciese de otros medios, se estrellaría con freqüencia en el peligro que ménos recelaba, ó llegaría al puerto despues de mil rodeos tan inútiles como tediosos. Pero las observaciones de los astros, dando directamente el lugar en que se halla la embarcacion, hacen casi nulos aquellos inconvenientes: y la Navegacion, cuya seguridad exîgiendo que las posiciones de las costas, islas &c. estén exâctamente establecidas, ha dependido siempre de la Astronomía, es en esta parte una inmediata aplicacion de sus principios.

La Navegacion astronómica es, pues, la que dirige las embarcaciones, y la estima solo llena los intermedios que dexan las oportunidades de practicar las observaciones. Asi, todo Piloto debe cultivarla, asegurado de los principios fundamentales é indispensables de la teórica, sin los quales correría el riesgo de hacer siniestras aplicaciones de las simples reglas. Estos principios no requieren mas capacidad de aquella mediana de que, á lo ménos, deben estar dotados todos los hombres que se proponen seguir una carrera facultativa; pero si alguno, despues de emprendida, los halláse superiores á sus fuerzas, el primer desengaño debe deter-

 mi-

minarle á buscar otra ocupacion en que su inutilidad no sea perniciosa. El suceso de las empresas mas importantes, y sobre todo las vidas de los hombres, dependen aqui directamente de la demasiada confianza que uno tenga de sí mismo, ó de la que indebidamente adquiera en los que estraños á su profesion no pueden juzgar la que merecen.

Pero, si nunca es disculpable que el amor propio nos ciegue á punto de atropellar los peligros que resultan de perseverar en aquel género de vida á que la naturaleza no nos ha destinado ¿ con quánta mas razon será reprehensible que la pura ignorancia produzca los mismos inconvenientes? Estos exemplares parece que debian ser raros; pero, sin embargo, no titubearémos para decir que una gran parte de los actuales Pilotos de todas las naciones son culpables de tan funesto abandono. Acostumbrados á una rutina que favorece su indolencia, miran con desprecio todo lo que no conocen, y aún las pocas reglas prácticas que derivan de buenos principios no las adoptan sin repugnancia, siempre á costa de mucho tiempo, y al fin imperfectamente. De este modo, quando mas un mal instrumento para tomar mal la altura meridiana, y las desnudas reglas de la mas limitada estima, les bastan para atreverse á dirigir un Buque: y si los patentes

tes aciertos de sugetos mas ilustrados ájan su presuncion, no dexan de recurrir al último atrincheramiento de la ignorancia, suponiendo casuales los resultados de la infalible teórica que no penetran. Yo no me lisonjeo de poder desarraigar estas preocupaciones, que particularmente se desatan contra las observaciones de longitud, esto es, contra la gloria de la Navegacion moderna: y esperando su total reforma de los Oficiales de nuestra Marina, cuyo exemplo ya la ha principiado, me estimaré dichoso, si me es dable contribuir á sus intenciones, apuntando los métodos que deben adoptarse.

Para esto principiarémos por describir los instrumentos que sirven para la práctica de las observaciones en la mar, y luego explicarémos los métodos de deducir por sus datos la latitud y longitud de la nave.

DE LOS QUADRANTES de reflexîon (1).

Principios fundamentales y construccion de los Quadrantes.

224 El observador, que en la mar apoya sobre un suelo agitado, se vé que no puede emplear los mismos medios que en un observatorio para contemplar los astros. Obligado á un movimiento incesante, para mantener su equilibrio en el navio, el astro ó el horizonte se le escapan continuamente, y si quiere comparar dos puntos, pierde el uno quando busca el otro. Ha sido, pues, necesario recurrir á la invencion de instrumentos, cuyo uso no se reuse á estas desventajas, y al Astrolabio han ido sucesivamente substituyéndose varias especies de Ballestillas y Quadrantes, hasta el ingles llamado de Davis que es el mas perfecto. Pero últimamente los instrumentos de reflexîon los han desterrado á to-

(1) Los instrumentos de que vamos á tratar se llaman particularmente Octantes, Sextantes &c. segun su arco es la octava, sexta &c. parte del círculo; pero, para no embarazarse en estas diferencias, parece mas propio distinguirlos en general por *Quadrantes de reflexîon*.

todos: y en la suposicion de que por ningun motivo deben emplearse otros para las observaciones de la Astronomía náutica, estos son tambien los únicos que describirémos.

Invencion de los Quadrantes de reflexîon. 225 El Caballero Isaac Newton concibió sin duda la primera idéa de los instrumentos de reflexîon propios para observar en la mar las alturas y distancias de los astros; pero, sin embargo, no podría con justicia atribuirsele su invencion exclusivamente, y al contrario este parece uno de los pocos pensamientos en que otros hombres han tenido la fortuna de concurrir con el primero de los Sábios. El Vice Presidente de la Sociedad de Londres Juan Hadley, en las Transacciones filosóficas de 1731, hizo pública por la primera vez la descripcion de un instrumento de esta especie: Mr. de Fouchy, actual Secretario perpetuo honorario de la Academia de las Ciencias de Paris, buscando el modo de perfeccionar el Quadrante ingles, inventó otro instrumento semejante, de que dió idea en las Memorias de la misma Academia de 1732, y despues muy perfeccionado en las de 1740: y Mr. Godfrey de Pensilvania, conducido por las mismas miras, pretenden sus compatriotas, que, ántes ó al mismo tiempo que Mr. Hadley, imaginó en el Nuevo Mundo

do este medio, que tanto habia de facilitar su comunicacion con el antiguo.

Esta concurrencia disipa toda la sorpresa con que podría mirarse la incertidumbre en que estamos acerca de las grandes invenciones, como la de la pólvora, imprenta, anteojos &c. pues la de los Quadrantes de reflexîon, que es tan reciente, no podría atribuirse sin temeridad á un inventor solo. Guiado, pues, de este exemplar considerémos, para desengaño de los críticos que pretenden desentrañar tales verdades, que raras veces la invencion en que el raciocinio tiene mas parte que los accidentes será única. Un nuevo descubrimiento depende de la feliz combinacion de los conocimientos actuales: el motivo de dirigirse á los objetos útiles no se limita á un solo sábio; y de aqui resulta, que en la misma época aparezca una misma invencion hecha por diferentes sugetos, y que, por consiguiente, se ofrezcan sobre su verdadero autor, procesos tanto mas interminables en el Público, quanto el mismo mérito de los concurrentes los hace mas acreedores á no dividir la gloria. Asi, nos parece bastante indiferente que el Octante de reflexîon se llame de Newton, como pretenden algunos, ó conserve el nombre de Hadley en Inglaterra, ó de Godfrey en la América septentrional: y esperamos

mos convendrán en este dictámen todos los que reflexîonen, que el hombre capaz de hacer por sí algun adelantamiento dificilmente querrá apropiarse el que en realidad se debe á otro.

226 Entre aquellos instrumentos, que disputan el mérito de la invencion, y [1] el del célebre Smith, publicado ácia el mismo tiempo (esto es, ácia 1731), hay algunas variedades. Pero estas no pueden determinar la competencia; porque el verdadero autor de una invencion es el primero que, manifestando la aplicacion de su principio fundamental, establece la inalterable basa sobre la qual los demás trabajan. Por tanto, no deteniéndonos en describir aquellos primeros ensayos, ni en seguir todas sus variedades y progresos hasta ahora, pro-

(1) Es bien estraño que Mr. Leveque en su *Guide du Navigateur* (pag. 4. nota), precedido de Magallanes en su Tratado sobre los Octantes (art. 3), diga: *Avant le second Octant de Mr. de Fouchy il y en avoit deux autrs, un de Calcb Smith, et l' autre de Mr. Elton*; pues si, como no parece dudable, habla de los instrumentos de reflexîon únicamente (sin lo qual deberia hacer mencion de otros), es cierto, que el de Mr. Elton no lo es, y si únicamente se reduce al Quadrante ingles perfeccionado, con el fin principal de tomar alturas, supliendo el horizonte por medio de niveles. Vease la descripcion dada por su inventor en las Transacciones filosóficas de 1732 num. 423 II.

procurarémos presentar desde luego el instrumento en su perfeccion actual, que es lo que importa para nuestro objeto (1).

Principios fundamentales del Quadrante. 227 La construccion del Quadrante de reflexîon se funda en este principio de Catóptrica: El rayo de luz que cae en un espejo ó superficie lisa se reflecta ó muda de direccion, haciendo el ángulo de reflexîon igual al de incidencia, respecto al plano del espejo, y conservando el mismo plano perpendicular á la superficie reflectante.

Fig. 24. Esto es: que si un rayo de luz HE encuentra el espejo AEB, se reflecta en el punto E ácia *e*, haciendo el ángulo de reflexîon *e*EB igual al de incidencia HEA, y que el plano determinado por las dos direcciones HE, E*e* es perpendicular al espejo

(1) Sobre este importante asunto pueden consultarse principalmente las Memorias *de Matematique et de Fisique redigès à l' Observatoire de Marseille.* 1ª parte: Las reflexîones de Mr. Maskelyne publicadas en las Transacciones filosóficas de 1772, y en el Almanak náutico de 1774, y sobre todo los excelentes tratados de Mr. Ludlam, y Magallanes. Tambien es muy interesante una Memoria de Mr. Atwood publicada en las Transacciones filosóficas de 1781, que contiene una nueva y sublime teórica general de la medida de los ángulos subtendidos por dos objetos, uno visto directamente, y otro por reflexîon, de la qual es un caso particular la invencion de Hadley.

jo AEB, ó, lo que es lo mismo, pasa por la perpendicular en E al mismo.

228 De este principio resulta, que si el mismo espejo se hace girar de un ángulo igual á DEB, esto es, hasta que quede en la posicion CED, el ángulo HES formado por el primer rayo de luz HE, y el otro que en el segundo caso se reflecta en la misma direccion E*e*, será igual ó 2DEB, ó al duplo del movimiento angular del espejo.

En efecto $eED = eEB - DEB$, y por consiguiente, segun la suposicion, $SEC = eEB - DEB$; pero $HEC = HEA + AEC = eEB + DEB$, luego $HES = HEC - SEC = 2DEB$.

229 De este modo, recibiéndolo en otro espejo fixo F*e*Q, el rayo reflectado E*e* experimentará una segunda reflexîon y se dirigirá segun *e*O, haciendo tambien $EeF = OeQ$. Asi, suponiendo fixo el segundo espejo F*e*Q, y un ojo constantemente en algun punto de *e*O, no tiene duda, que este irá viendo sucesivamente las segundas imágenes de todos los objetos H, S &c. y que la rotacion del espejo AB será exâctamente igual á la mitad de los ángulos HES, ó de los ángulos formados en E por los rayos de luz de los objetos H, S &c.

230 De estos principios resulta un método facil de medir las distancias angulares de los ob-

jetos, que es en lo que consiste todo el artificio de los Quadrantes de reflexîon. Si con el objeto H, visto directamente desde O, se hace concurrir su segunda imagen en el espejo F*e*Q, esto es, si el rayo de luz HE, reflectado en E segun E*e* y despues en *e*, llega al ojo O en la misma direccion que la visual O*e*H, no hay mas que medir por medio de un indice el movimiento angular que es necesario dar al espejo AB, para que la segunda imagen de otro objeto, como S, concurra con el primero; y su duplo será precisamente igual al ángulo que se busca SEH. En el Quadrante de reflexîon se ahorra

Fig. 26. esta reduccion, afianzando el espejo AB en una alidada, cuyo movimiento angular, igual al del espejo, se halla indicado en un arco de círculo KL de que es radio, dividido en medios grados, medios minutos &c. que equivalen á grados, minutos &c.

Fig. 24. 231 Quando el objeto H está distante, el ángulo EH*e* (que llamarémos *paralático*) es sensiblemente nulo, y el rayo HE puede considerarse como paralelo á la visual H*e*O. En este caso, el ángulo HE*e* es igual á E*e*O, y por consiguiente *e*EB = F*e*E. De lo que se sigue, que, siendo los espejos paralelos al hacer coincidir la imagen con el objeto, su inclinacion es despues igual á la mitad del ángulo observado.

Al

232 Al Quadrante de reflexîon suele añadirse un tercer espejo e', que sirve para las que se llaman *observaciones por la espalda*. En el uso de este espejo, la segunda imagen de un objeto H′, directamente opuesto al H, se hace concurrir con éste, esto es, se dispone el espejo AB, de modo que el rayo H′E, reflectado en E y luego en e', coincida con la visual Oe'H: y, girando el espejo AEB con la alidada, las divisiones del arco dán el valor del ángulo H′ES, que es el suplemento del determinado por los dos objetos SEH. *Fig. 25.*

233 Estas observaciones difieren tambien de las anteriores, en que la segunda imagen en el espejo e' manifiesta su objeto invertido, como es evidente, considerando las posiciones de los espejos y camino de los rayos: y esta atencion es precisa, siempre que se tomen distancias angulares entre objetos que tienen diámetro sensible.

234 Suponiendo el objeto H lejano como antes, las lineas H′EH, Oe'H serán sensiblemente paralelas, el ángulo e'EH igual á 180° ménos Ee'H, y por consiguiente $\frac{1}{2}e'EH = e'EB$ igual á

$$\frac{180^\circ - Ee'H}{2} = 90^\circ - Ee'M.$$

De lo que resulta: que, haciendo concurrir la imagen del objeto H′ opuesto al H con el mismo H, los espejos son per-

pendiculares, y que en las observaciones el complemento de su inclinacion es igual á la mitad del ángulo medido.

235 Las de los objetos celestes de que tratarémos principalmente se hallan en estos casos; y asi, á ménos de no advertir otra cosa, siempre supondrémos los espejos en esta disposicion, y hablando de objetos lejanos entenderémos qualquiera que como el Sol, Luna, ó algun objeto terrestre á mas de 700 varas, no produzca un ángulo paraláctico sensible.

236 Para expresarnos facilmente tambien llamarémos *exes de vision* á las líneas visuales O*e*, O*e'* (fig. 24, 25) dirigidas al objeto H.

237 En las *observaciones por delante*, los planos de los espejos AEB, F*e*Q son perpendiculares al de HE*e*, ó E*e*O, como en las posteriores los espejos AEB, M*e'*N lo son al plano E*e'*H, ó E*e'*O: y en ambos casos, para que el movimiento angular de la alidada mida exâctamente el del espejo, se vé, que el círculo que describa su extremo, ó el limbo graduado en que lo indique, debe estar en el mismo ú otro plano paralelo al E*e*O, ó E*e'*O. Para asegurar estos indispensables requisitos es, pues, necesario, que todo el cuerpo del instrumento EKL sea muy sólido: que, una vez bien dispues-

Fig. 26.

puesto, no varíe con los movimientos de la alidada: y que en todo tiempo puedan descubrirsele los errores que produzca.

Descripcion del cuerpo del instrumento. 238 Con este objeto los Quadrantes de reflexîon ordinarios se hacen de alguna madera sólida, como el ébano, y los mejores de laton. En el primer caso las divisiones se señalan en una hoja de marfil ó metal embutida en el limbo, para que sean mas distintas y durables. En el segundo, unas veces se funde todo de una pieza bastante gruesa para no doblarse facilmente con el uso, pero entonces es algo pesado: y en otras se forma el plano de una hoja delgada de metal guarnecida de tres costillas, ó barrotes tambien de metal, que dirigidas, una de E á L, otra de E á K, y la tercera en forma de arco circular de L á K, hacen por medio de tornillos un todo bien sólido con el plano: y en esta disposicion, el cuerpo del instrumento, mas ligero que antes, no se halla ménos libre del riesgo de doblarse.

239 Para impedir las impresîones de la atmósfera, toda la superficie del metal, á excepcion del que contiene las divisiones, se cubre de barniz: y para que aquellas no se tomen, bastará frotar suavemente el limbo, de quando en quando, con un

un trapo mojado en aceyte comun. Pero como el barniz que se usa comunmente es de color de oro muy brillante, sería mejor dexar sin él las caxas de los espejos y partes adyacentes, y pintarlas de negro; pues la brillantez de la superficie en el primer caso reflecta una luz falsa que, mezclada en el ojo con la reflectada de los objetos, lo ofusca y es contraria á la distinta percepcion de las imágenes.

240 El indice ó alidada, que se hace siempre de laton, debe estar guarnecida de una barra ó liston de metal, que la divida perpendicularmente en dos mitades segun su longitud por las razones dadas (238). Por debaxo tiene tambien un resorte, que sin estorbar su giro la obliga á coincidir con el limbo constantemente, y un tornillo que sirve para fixarla en la posicion que conviene. Pero para moverla en este caso con mucha igualdad y lentitud, en los mejores instrumentos se añade además otro tornillo, señalado en la figura 26.

241 El movimiento de la alidada se executa al rededor de un exe de metal situado en el centro del instrumento y del arco del limbo KL. El exe en los mejores instrumentos es de acero perfectamente torneado y pulido, de forma algo cónica, y que gira en una hembra muy bruñida hecha de bron-

bronce. Es innecesario advertir, que la mezcla de que resulte una composicion mas dura y compacta será tambien la mas propia para esta especie de obras, en que se tira á evitar los saltos é irregularidades que proceden de la friccion de las escabrosidades.

242 Tambien es claro, que, debiendo ser uno mismo el centro del movimiento y el de las divisiones del limbo, qualquiera discrepancia, ó excentricidad del exe de la alidada, produciría errores, tanto mas considerables, quanto el radio del instrumento fuese mas corto; y que asi, ningun cuidado sobra para asegurarse de esta exâcta coincidencia.

243 El extremo inferior de la alidada tiene una abertura quadrada, que, con un lado cortado en declivio, ajusta al arco graduado. Este arco, que es de 45 grados en los Octantes y de 60 ó algo mas en los Sextantes, está dividido en medios grados que equivalen á grados enteros (230): y estos grados ordinariamente en dos ó tres partes iguales, esto es, de 30′ ó 20′ cada una. Las divisiones se numéran de 10° en 10° desde o ácia la izquierda hasta mas de 90°, y del mismo modo ácia el otro extremo hasta terminar el arco (esta parte se llama *arco de exceso*): y los minutos ó

par-

partes menores se distinguen por medio del vernier gravado en la superficie inclinada de la abertura del indice. En las observaciones anteriores el mismo punto del limbo, y en las posteriores su suplemento, dá la medida del ángulo determinado por los dos objetos; pero, tomando la altura de un astro, los grados indicados dán inmediatamente su valor tanto en el segundo como en el primer caso (232).

244 Quando el arco está dividido en partes de 20′, como sucede con todos los que tienen un radio mayor de 16 pulgadas, generalmente se toma un intervalo igual á diez y nueve de éstas partes, que se divide (P. A. 541) en 20, para tener las divisiones del vernier en el mismo orden que las del arco principal, esto es, de derecha á izquierda; y asi, numerándolas de cinco en cinco, se señalan en la disposicion siguiente:

20 15 10 5 0

ó poniéndolas cimétricamente

10 5 0 15 10.

245 En el caso de dar al varnier el orden contrario al que sigue el arco graduado, se toma en éste un intervalo igual á 21 de sus partes igua-

iguales, y, dividiéndolo en veinte, resulta el vernier, como sigue:

0 5 10 15 20
ó bien
10 15 0 5 10.

246 De todos modos, para usar el vernier, no hay mas que mirar (P. A. 541) qual de sus divisiones coincide exâctamente con otra del limbo, y su número denotará quantos minutos y otras partes deben contarse además del grado y tercio de grado de la última division del limbo. Pero, para asegurarse de la coincidencia, convendrá tener un microscopio ó lente de aumento, que comunmente acompaña á los buenos instrumentos, y algunas veces de modo que, encaxándola por un exe en un agujero de la alidada, puede hacerse girar segun conviene.

247 Pero si el vernier se usa en el arco de exceso, como siempre que se aplique en sentido contrario á aquel para que estaba calculado, deberá tomarse el complemento del número que indique el total de las partes de que conste: por exemplo, 5 en lugar de 15, ó 13 en lugar de 7, en el vernier de que tratamos.

248 Si, no admitiendo el radio del instrumento divisiones tan pequeñas, ó si siendo el radio bastante considerable, quisieren distinguirse hasta los minutos ó partes menores, podrá facilmente conseguirse, abrazando en el vernier mayor interválo; pero sobre estas particularidades no nos detendrémos, porque los principios dados de su construccion (P. A. 540) bastan para saber lo que debe hacerse en qualquier caso.

249 Mr. de Fouchy ha inventado y aplicado á su Octante otro método de subdivisiones sumamente ingenioso, cuya descripcion puede verse en las Memorias de la Academia, año 1740 pag. 480, y en la nota X pag. 239 del Tratado de Magallanes.

De los espejos y modos de exâminarlos. 250 El espejo (fig. 26) de la alidada E se mete en una especie de caxa abierta, representada aparte en la fig. 27, con la superficie reflectante vuelta ácia el otro espejo *e*. La pieza representada en la fig. 28 entra en el fondo de la caxa por detrás del vidrio, de modo que, volviendo el tornillo N, los dobleces de esta pieza, que son un poco elevados, apoyan contra la superficie del vidrio, que en estos parages se dexan sin azogue apropósito, y el espejo se mantiene fixo en la caxa.

251 Pero como la presion del tornillo N podría

dría causar alguna curvatura al vidrio, Mr. Dollond imaginó un medio muy ingenioso de evitar este peligro, y Mr. Ludlam lo ha perfeccionado. En este artificio la parte posterior apoya contra tres puntos salientes de un plano de metal perpendicular al del instrumento, los bordes de la caxa que ciñen el espejo tienen tambien tres puntas opuestas directamente á las primeras, y detrás de la caxa hay un resorte triangular, cuyo extremo tiene otras tres puntas correspondientes. De este modo, quando el tornillo de presion cierra el resorte, el cristal queda sujeto solo por tres puntos; y, por consiguiente, como tres puntos sin estar en línea recta determinan la posicion de un plano, las puntas en aquella disposicion no pueden encorvarlo. Con esto se logra tambien, que, como la accion del resorte es la única que obra contra el cristal y no la fuerza entera que la mano podia dar al tornillo, el espejo no puede romperse por su presion, ni el tornillo está expuesto á afloxarse, como quando actúa contra el cristal directamente.

252 Todo el aparato de la caxa E*m* con el espejo dentro se afianza á la alidada de diferentes modos, pero todos consisten en hacer que el plano del espejo pueda ponerse y continuar firme en la posicion perpendicular al plano del instru-

mento, por las acciones encontradas de dos ó mas tornillos. En el Quadrante de la fig. 26, el tornillo A une un plano perpendicular á la superficie posterior de la caxa al de la alidada, y el otro B sirve para hacer el espejo bien perpendicular al instrumento.

253 En los instrumentos ordinarios, el espejo E está del todo azogado, pero en los mejores Quadrantes casi la mitad del cristal está dado de negro por detrás, para poder tomar, quando el Sol está muy brillante, su imagen reflectada en la primera superficie. Con esto se logra, que la imagen se halle libre de las imperfecciones que pueden ocasionarle las de la superficie posterior, y en el uso del instrumento no hay que atender al defecto de paralelismo de las dos caras del espejo (309).

254 Para hacer uso de esta superficie obscura, se suele poner una pieza, como la de la fig. 29 delante de la parte azogada del espejo, ó bien se eleva otra pieza semejante, que se halla en algunos instrumentos puesta cerca del espejo y que gira sobre dos exes. Pero en todo caso, la parte dada de negro y la azogada deben guardar una cierta proporcion, como se verá en el articulo 264 y siguientes.

De los espejos horizontales. 255 El espejo *e* (que

(que se llama *horizontal anterior*, porque sirve para tomar las alturas de los astros por delante) está azogado solo hasta cosa de la mitad en la mas próxîma al instrumento, y el resto se conserva limpio y transparente. Este espejo se coloca tambien en una caxa como la del de la alidada, con la diferencia de que la parte correspondiente á la no azogada del espejo está del todo abierta. Los buenos artistas dexan aún esta parte transparente enteramente descubierta y sin guarnicion alguna, porque asi se logra tener el campo de vision mas libre para buscar los objetos: y de este modo solo emplean la mitad de la caxa representada en la fig. 30.

256 La fig. 31 representa una hoja de metal que tiene dos partes perpendiculares entre sí, y sirve para afianzar el espejo *e* con todo su aparato al instrumento en un círculo grueso de metal, como despues dirémos (259). Los dos tornillos (fig. 30) *a*, *b* apoyan la parte X de aquella pieza contra el cristal, y este queda sujeto entre los dos dobleces *rt*, *su*, y los de la semicaxa *nm*, *cd*. Al espejo horizontal se aplica tambien el resorte de que hablamos antes (251); pero entonces se hace solo de dos ramas ó puntas, por razon de la parte que debe conservarse transparente.

257 El espejo *é*, que sirve para las observacio-

ciones por la espalda, es en todo semejante al espejo *e*, exceptuando su posicion, que debe ser perpendicular al espejo de la alidada, quando ésta se halla en el *o* de la graduacion, en lugar que el otro debe serle entonces paralelo.

258 Algunos artistas no dexan mas que una faxa estrecha transparente en el medio de este espejo, y azogan el resto de su superficie; pero esta práctica, que dificulta su uso, está generalmente condenada y casi abandonada.

259 Cada uno de los espejos horizontales *e*, *e'* con todo su aparato está montado en un círculo grueso de metal, y este círculo descansa por dos puntas, dispuestas debaxo de los extremos del espejo, en otro plano circular S del mismo tamaño á corta diferencia. Dos tornillos C, D, uno á cada lado del espejo, aseguran el primer círculo en esta posicion; y sirven, afloxando uno y apretando otro, para ponerlo en la perpendicular al plano del instrumento.

260 Este método es el mas comun, pero Mr. Dollond ha imaginado conseguir lo mismo con un solo tornillo, que, inclinando el espejo ácia un lado, actúa contra un resorte que tiende á inclinarlo ácia el opuesto. Este tornillo atraviesa el cuerpo del Quadrante, y puede volverse facilmente en su par-

parte posterior por medio de la (fig. 32) pieza A. Y aunque en esta disposicion, la posicion del espejo no esté asegurada con tanta solidéz como en el anterior, la experiencia nos la ha confirmado de suficientemente segura, á ménos que el instrumento reciba golpes ó sacudidas violentas, que no pueden recelarse siempre que se halle en poder de un Observador cuidadoso.

261 Además de los tornillos para inclinarlo, cada espejo horizontal tiene una palanca, que sirve para hacerlo girar en el sentido del plano del Quadrante. La fig. 33 representa aparte esta palanca, que ordinariamente se pone detrás del instrumento ajustada á un exe saliente del círculo S, y que atraviesa el Quadrante perpendicularmente á su plano: *p b* es la palanca bien ajustada al extremo quadrado de este exe, por medio del tornillo *t*: el extremo *e* de la palanca entra en la abertura de la pieza *a b c* unida al cuerpo del instrumento por el tornillo *e*: y *g* es un tornillo que sirve para fixar la palanca en la posicion que se requiere.

262 Con esto se vé, que, afloxando el tornillo *g* y volviendo la pieza *a c*, se hará mover circularmente la palanca, y por consiguiente el espejo á que está adherente, hasta que convenga fixarlo por el boton ó tornillo *g*.

El

263 El uso ventajoso de la palanca consiste en que la rotacion que comunique al espejo sea muy suave igual y lenta, y para esto los buenos artistas han discurrido diferentes métodos: entre los quales es de los mejores un tornillo sin fin adaptado á un círculo de metal dispuesto en el extremo inferior del exe del espejo.

264 Las dimensiones de todos estos espejos, y las de la parte que se azogue ó dexe diáfana, deben adaptarse á la magnitud del instrumento y oficio particular de cada espejo.

La longitud de los espejos en el sentido del plano del Quadrante es arbitraria dentro de ciertos límites, y segun Magallanes la de 2 pulgadas, ó 2 [1] pulgadas y 3 líneas, es suficiente para el espejo de la alidada, y 10 ú 11 líneas para cada espejo horizontal.

Al contrario, la altura debe ser igual en todos los espejos, y depende de la abertura del anteojo si se usa. Ordinariamente el espejo de la alidada se azoga enteramente, pero siempre será mas útil, segun ya hemos indicado (253), dexar en la parte superior 4 ó 5 líneas sin pulir y dadas de negro.

Los

(1) En todas estas dimensiones, siempre que no expresemos lo contrario, harémos uso de la medida de Paris.

Los dos espejos horizontales están tambien azogados en la parte mas próxîma al plano del instrumento, hasta la altura de quatro ó cinco líneas, quedando todo el resto transparente.

265 Como la mayor utilidad de la parte transparente consiste en ver la imagen del Sol ú otro objeto muy brillante reflectada en su primer superficie, quando se destine el Quadrante al único uso de medir ángulos terrestres, convendrá suprimirla del todo, y reducir los espejos horizontales á la altura de la azogada; pues, aunque entonces los objetos terrestres pueden tambien percibirse, el medio del cristal los obscurece mucho.

266 Quando el instrumento se disponga para guarnecerlo de anteojo, el margen superior de la parte azogada del espejo horizontal deberá corresponder al medio de la abertura de la objetiva, quando el exe del anteojo se halle paralelo á la menor distancia del plano del instrumento; y la parte diáfana debe tener entonces como unos dos diámetros de la misma objetiva: lo que hace la altura total del espejo igual á dos diámetros y medio poco mas ó ménos. En este caso, á la parte azogada de la alidada deberá darse como diámetro y medio de la abertura del anteojo, y á la parte negra poco mas de un diámetro.

267 La tabla siguiente del Señor Magallanes manifiesta la proporcion de estas dimensiones con las diferentes aberturas de los anteojos, en líneas del pie de rey.

Diámetro de la abertura del anteojo..........	3	4	5	6
Altura total de los espejos........................	9	11½	14	16½
Altura de la parte azogada del espejo de la alidada..	5½	7	8½	10
Altura de la parte dada de negro.............	3½	4½	5½	6½
Altura de la parte azogada de los espejos horizontales..............................	2	2½	3	3½
Altura de la parte diáfana de los mismos.....	7	9	11	13

268 Como la perfeccion de los espejos es una de las calidades mas importantes de un buen instrumento, quando se empleen los de cristal, es indispensable atender á que la refraccion que padecen los rayos incidentes y reflexos en la primer superficie no produzca errores en las observaciones. Á este fin, sus dos superficies deberán ser paralelas; pues entonces el efecto resultará evidentemente igual á la simple reflexîon en una superficie única: y como qualquier defecto en este punto sería de mucha conseqüencia para la practica, convendrá siempre asegurarse de dicho paralelismo por alguno de los métodos siguientes.

269 Si lo que se quiere es exâminar el cristal

tal antes de azogarlo, no hay mas que colocar un anteojo fixo opuesto á un objeto inmovil, y pasar el cristal delante de la objetiva; pues si es perfecto, el objeto visto por el anteojo no debe mudar de lugar en apariencia.

270 Pero, aunque los espejos estén ya hechos, pueden probarse de diferentes modos. Elíjase (1), por exemplo, algun objeto muy brillante, y si su imagen, reflectada en el espejo por un ángulo muy agudo, está bien terminada y simple, no quedará duda de que es bueno: y al contrario, quando se vean dos imágenes. Para asegurar la exâctitud, viendo la imagen mas distintamente, convendrá usar en la experiencia un anteojo que aumente 15 ó 20 veces.

271 Al mismo fin, podrá medirse con el Quadrante un ángulo qualquiera, segun despues dirémos (325 y siguientes), y volviendo el espejo de la alidada de arriba á baxo, repetir la operacion: la qual dará el mismo resultado que antes, si el espejo es bueno.

272 Del mismo modo: si con el instrumento ya montado se observa la imagen del Sol por una

(1) Los principios enunciados bastan para entender desde luego el fundamento de estos métodos y demás que indicarémos.

incidencía muy aguda, como, por exemplo, quando la alidada está en el extremo de la graduacion, se conocerá facilmente la bondad de los espejos, atendiendo á que la imagen reflectada debe ser siempre única y bien terminada.

273 El defecto de paralelismo entre las superficies no produciría errores en las observaciones, colocando su interseccion paralelamente al plano del instrumento; pero, no siendo facil asegurarse de la exâcta posicion de esta línea, lo mas conveniente es excluir tales cristales, aunque si se quieren emplear podrá recurrirse á un método semejante al indicado para los vidrios obscuros.

274 Pero á primera vista se conoce, quán poco importa que en alguna parte las superficies del espejo sean paralelas, si en toda su extension no continúan perfectamente planas. Para exâminar este defecto, pueden observarse con el instrumento dos objetos muy iluminados y distantes uno de otro, y hacer concurrir las dos imágenes por todo el margen azogado del espejo horizontal, baxando el instrumento y conservándolo siempre con mucha exâctitud en el plano que pasa por los dos objetos; pues de qualquiera curvidad ó irregularidad resultará, que, faltando la coincidencia, las imágenes se crucen ó separen. Esta operacion será mas cómoda, si uno

uno de los objetos es bastante luminoso para percibir su imagen reflectada en la primera superficie de la parte diáfana del espejo horizontal; pero de todos modos, la experiencia requiere mucho esmero y tino para conservar el plano del instrumento en la posicion prescripta; porque, desviándolo de ella, podría cesar la concurrencia de las imágenes, sin que los espejos fuesen imperfectos.

275 Las pínulas para observar por delante se hacen de diferentes modos. La pieza M representa una con dos agujeros, de los quales puede cerrarse el que se quiera por medio de una planchuela que gira sobre un exe. El agujero mas próxîmo al cuerpo del Quadrante sirve para observar la imagen del objeto, reflectada en la superficie azogada del espejo *e*, en coincidencia con el mismo objeto, visto directamente por la parte diáfana del mismo espejo; y asi, debe estar á la misma altura sobre el plano del instrumento, que la línea que en aquel espejo separa la parte azogada de la otra. El agujero superior sirve para observar las imágenes de los objetos bastante brillantes para reflectarse en la primera superficie de la parte transparente del mismo espejo; y, por consiguiente, su altura es arbitraria, con tal que no exceda la del espejo. *Fig. 26.*

276 Quando se use la parte obscura del espe-

pejo de la alidada (253), la pínula debe tener tres agujeros. El primero y segundo como los antecedentes, y el tercero á la altura de la parte obscura del espejo E, para ver la imagen del objeto reflectada por las partes no azogadas de los dos espejos.

277 En lugar de las pínulas simples, se emplea con freqüencia un tubo para dirigir los rayos visuales, ó un anteojo. En el primer caso, si el tubo es inmovil, deberá tener los tres agujeros que acabamos de mencionar (276) en el extremo ocular, y en la boca opuesta dos alambres que dividan el campo de vision en tres partes correspondientes á aquellos agujeros. En el segundo, el anteojo suele montarse de modo que, por medio de tornillos, pueda moverse paralelamente á sí mismo, y aún inclinarse, para poder dirigirlo paralelamente al plano del instrumento y á la parte del espejo horizontal que convenga, segun las circunstancias.

278 Con este objeto, los mejores artistas suelen emplear la pieza que representa la fig. 34. En ella *a*, *a* son dos puntas que entran en dos agujeros hechos en el cuerpo del instrumento, *b* un tornillo que, apretado contra la espalda del Quadrante, asegura el todo en la posicion que se requiere. La par-

parte superior de la pieza es un anillo en que se entornilla el anteojo, y *c*, *c* dos tornillos que, atravesándolo, lo inclinan contra dos puntas fixadas en los lados *d*, *d* al anillo que está detrás: por cuyo medio, afloxando uno de estos tornillos y apretando el otro, puede ponerse el exe del anteojo paralelo al plano del instrumento. Volviendo tambien el tornillo *f* se aproxîma ó alexa el anteojo del plano del instrumento, hasta que su campo abrace la parte del espejo horizontal que se necesita.

Siendo muy dificil que la pieza que acabamos de describir sea suficientemente exâcta, para no producir alguna alteracion en el paralelismo del exe del anteojo, creemos con el Sr. Magallanes, que sería mucho mas conveniente tener en cada instrumento dos anteojos absolutamente inmoviles; pero en tal caso sería necesario reducir la altura y dimensiones de los espejos á la mitad de las que se dan ordinariamente y ya indicámos.

En la misma pieza (277) puede tambien ponerse el tubo simple; y en defecto de uno y otro, tambien puede servir como una pínula, cubriendo la entrada del anteojo con una planchuela circular. La figura manifiesta esta planchuela que gira sobre un exe, y tiene un agujero que por medio del tornillo *f* se hace corresponder donde conviene, como

el

el anteojo. Algunos instrumentos traen consigo de quita y pon las tres especies de miras: á saber pínula, tubo, y anteojo; pero ningun medio es comparable á un buen anteojo usado con acierto, y éste es el único con que deberá practicarse qualquier observacion algo importante.

281 La figura 35 representa el anteojo, que tiene dos faxas con roscas para entornillarse en la pieza que acabamos de describir. La faxa mas distante de la objetiva sirve para las observaciones por delante, pero para las posteriores es necesario usar la otra, por mediar entonces muy corto espacio entre la pínula y el espejo horizontal. En esta especie de anteojos ordinariamente no se ponen mas que dos oculares, por cuya razon invierten los objetos; pero este inconveniente es inconsiderable, y se hace nulo con poca práctica; pues la adicion de tercera ocular disminuiría su claridad, y lo haría de una longitud embarazosa. El anteojo debe aumentar 4 ó 5 veces la magnitud de los objetos, y su campo que debe ser grande, esto es de 7° y hasta 9° de diámetro, dividirse en tres partes á corta diferencia iguales, por dos alambres ó hilos colocados paralelamente en el foco de la primera ocular.

282 En las piezas que acompañan al instrumento, se encuentra ordinariamente un tubo separa-

rado con una ocular cóncava, para ver en el anteojo los objetos situados naturalmente. El efecto del anteojo es asi mucho ménos distinto, y su campo mas pequeño; pero siempre será bueno conservarlo á parte, para emplearlo en las ocasiones oportunas.

283 Para presentar una idéa de las dimensiones que convienen á esta especie de anteojos, darémos las que el Sr. Magallanes dice haber adoptado con mucha ventaja.

La objetiva, que es achromática de dos lentes, tiene unas 3 pulgadas de foco, y su abertura es de 5 líneas. El foco de la ocular, convexô-convexâ, mas próxîma á la objetiva es de 16 líneas, y el de la otra, que es plan-convexâ, con su superficie plana vuelta ácia el ojo, de 9 líneas. La distancia entre las dos óculares es de $12\frac{1}{2}$ líneas: la longitud total del anteojo, quando se emplean estas oculares, es de $4\frac{1}{2}$ pulgadas, y, quando se usa una sola ocular cóncava, se reduce casi á tres pulgadas; pero la imagen, que en la primera disposicion es muy distinta y bien terminada, en la segunda pierde mucho estas ventajas.

284 Para debilitar la luz de los objetos, que por demasiado brillantes no se podría, ó no convendría observarlos directámente con el anteojo, como

rado con una ocular cóncava, para ver en el anteojo los objetos situados naturalmente. El efecto del anteojo es asi mucho ménos distinto, y su campo mas pequeño; pero siempre será bueno conservarlo á parte, para emplearlo en las ocasiones oportunas.

283 Para presentar una idéa de las dimensiones que convienen á esta especie de anteojos, darémos las que el Sr. Magallanes dice haber adoptado con mucha ventaja.

La objetiva, que es achromática de dos lentes, tiene unas 3 pulgadas de foco, y su abertura es de 5 líneas. El foco de la ocular, convexô-convexâ, mas próxîma á la objetiva es de 16 líneas, y el de la otra, que es plan-convexâ, con su superficie plana vuelta ácia el ojo, de 9 líneas. La distancia entre las dos oculares es de $12\frac{1}{2}$ líneas: la longitud total del anteojo, quando se emplean estas oculares, es de $4\frac{1}{2}$ pulgadas, y, quando se usa una sola ocular cóncava, se reduce casi á tres pulgadas; pero la imagen, que en la primera disposicion es muy distinta y bien terminada, en la segunda pierde mucho estas ventajas.

284 Para debilitar la luz de los objetos, que por demasiado brillantes no se podría, ó no convendría observarlos directámente con el anteojo, como

quando se hace coincidir el Sol con su imagen, al extremo ocular del tubo suele añadirse un bastidor corredizo con dos vidrios, cuyas superficies interiores se han ahumado á la luz de una vela, ó una planchuela circular con vidrios de color girando sobre un exe. Los primeros ofrecen la ventaja de poder hacerse gradualmente mas obscuros de un extremo á otro, para adaptarlos á la luz del objeto que se mira, pero tambien padecen el inconveniente de perder facilmente el negro. Sobre lo que no parece fuera del caso notar, que las irregularidades de qualquier vidrio producirán mucho peor efecto, colocado delante del extremo objetivo, que en el ocular; y que, por consiguiente, es siempre preciso interponerlo del segundo modo, como sucede en todos los instrumentos astronómicos.

De las directrices. 285 La construccion de la pínula para las observaciones por la espalda no difiere de la descripta para las anteriores, y ordinariamente se hacen los tubos y anteojos de modo que puedan adaptarse á ambas. Pero, para el caso en que no se tenga ó dexe de usarse alguno de estos dos medios, es indispensable que haya una directriz para la vista en las observaciones, como Mr. Hadley habia recomendado y actualmente practícan los mejores artistas, despues de haberla su-

pri-

primido injustamente. El objeto de esta directriz, representada en la fig. 26 por Q para las observaciones posteriores, y por las líneas puntuadas detrás del espejo *e* para las anteriores, consiste en hacer conservar el plano del instrumento en una posicion paralela al determinado por el ojo del observador y los dos objetos que se comparan: para lo qual, se sitúa un hilo de dichas piezas á la misma distancia del primer plano que el agujero de la pínula porque se mira.

De los vidrios obscuros y modo de exâminarlos. 286 En las observaciones del Sol y aún en las de la Luna, á que principalmente se dirigen estos instrumentos, es necesario hacer pasar sus rayos, ya directos, ya reflexos, por algun medio que facilite mirar el objeto ó su imagen tranquila y distintamente. Para esto, se emplean tres ó quatro vidrios de color (que llamarémos *obscuros*), que debilitan la luz en diversos grados, hasta que la vista puede soportarla. Uno de estos vidrios es rojo muy subido, el otro tambien rojo mas claro, y el tercero ó quarto, que se emplea en las observaciones lunares, verde. Los tres vidrios, engastados en bastidores quadrados ó redondos, giran en la misma visagra, y su conjunto forma la pieza representada en la fig. 36, que por medio del tron-

co *t* ajusta en un agujero quadrado dispuesto para recibirlo, y se sitúa en el parage que conviene, como por exemplo en H, para las observaciones anteriores. De los tres vidrios se usa el que conviene á la ocasion, dexando caer los demás fuera del instrumento, y aún en varias ocasiones es preciso interponer dos juntos; pero para este caso es evidente la importancia de que sus quatro superficies sean paralelas; y, por consequencia, los que se empleen deben ser muy perfectos y bien montados.

Fig. 26.

287 Antes de usar los vidrios obscuros es necesario asegurarse de que no son erroneos, y para esto bastará observar un ángulo con el instrumento montado sin ellos, y ver despues si su intercepcion altera la medida hallada. Para esto, se acostumbra poner en contacto la imagen del Sol con el mismo astro, visto directamente por la parte diáfana del espejo horizontal, que para este fin se guarnece de un vidrio ahumado: y, fixando la alidada en esta posicion, se vuelve el vidrio obscuro que quiere probarse, para ver si continúa con exâctitud aquel contacto: en cuyo caso el vidrio es perfecto.

288 Si el contacto varía, el vidrio es defectuoso; pero, aún asi, podrá usarse, colocándolo de mo-

modo que la intercepcion de sus dos superficies sea paralela al plano del instrumento. Para saber quando se halla en esta posicion, vuélvase el vidrio obscuro en su bastidor, hasta que se vea la imagen á la mayor distancia de la coincidencia en la direccion perpendicular al plano del instrumento: y asegurado de firme en esta disposicion, la refraccion del vidrio no producirá errores en las observaciones.

289 Lo mismo se conseguirá, observando, quando el Sol se halla en las proxîmidades del meridiano, su altura ó distancia á algun objeto fixo en el horizonte: y para los vidrios transparentes, tambien puede emplearse el contacto de la imagen de la Luna con una estrella situada próxîmamente en el círculo máxîmo que pasa por la Luna perpendicular á su curso. Pero como en ambos casos se supone que el arco medido no varía sensiblemente en el interválo necesario para la operacion, deberá tenerse el cuidado de no excederlo.

290 Ultimamente, para exâminar el paralelísmo de qualquiera especie de cristales, puede recurrirse al siguiente método, que, aunque mas largo, es mucho mas exâcto. Colóquese el cristal que quiere probarse en un bastidor sólidamente establecido, opuesto á la objetiva de un anteojo que tenga dos

hi-

hilos cruzados en el foco de las oculares, y esté situado inmoblemente en algun cuerpo firme. Mírese qualquier objeto distante á través del cristal, haciéndolo corresponder á la interseccion de los dos hilos del anteojo, y vuélvase el cristal en su bastidor: si en esta operacion el objeto no muda de lugar respecto á los hilos, será evidente que el cristal es bueno; pero si no, sus superficies no serán paralelas, y siguiendo la experiencia podrá hallarse su interseccion, para colocarla paralelamente al plano del Quadrante.

291 Para exâminar de este modo un vidrio de color subido, es necesario que el objeto sea muy luminoso, pero en defecto de uno de esta especie, podrán recogerse por medio de una lente los rayos de un velon con muchas luces, é interponerles despues una ocular, para hacerlos salir y llegar al vidrio que se exâmina sensiblemente paralelas: con lo qual podrá procederse como ántes.

De la disposicion de las diversas partes del instrumento. 292 El conjunto de las partes que hemos descripto debe resultar capaz de todos los usos á que pueda destinarse; pero como su disposicion varía segun el particular que se prefiera, la construccion de los Quadrantes es cosa sobre la qual no pueden darse reglas precisas y absolutas, y la per-

perfeccion del instrumento deberá esperarse en parte del tino con que el artista combine las ventajas particulares que se proponga con los principios de la teórica. Asi, solo para dar un exemplo, que sirva de gobierno en estos casos, harémos algunas reflexîones sobre el asunto.

293 Un principio general que nunca debe perderse de vista es evitar las incidencias ó reflexîones muy obliquas; y segun él se vé, quan defectuosa es la práctica de disponer el espejo E, formando un ángulo considerable ácia adelante con la línea *Fig. 26.* que segun su longitud divide la alidada en dos mitades; pues, á ménos de alejar mucho los espejos horizontales del lado EK del instrumento, la incidencia de los rayos que, partiendo del espejo grande caigan en el horizontal, será demasiado aguda, quando se observe con la alidada al fin del limbo. En esta atencion, el espejo E deberá situarse inclinado algunos grados ácia atrás respecto á la línea del medio de la alidada, y quando mas segun la misma línea, pero por ningun motivo ácia adelante, como acostumbran muchos artistas.

294 Por el mismo principio es evidente, que el centro del espejo horizontal debe colocarse con la inmediacion posible á la línea tirada por el centro del espejo grande perpendicularmente á su

su-

superficie, estando la alidada en el origen de las divisiones. Esta inmediacion no ha de ser tan grande, que el mismo espejo impida el tránsito á los rayos de luz que forman las imágenes de los objetos en el espejo de la alidada, ni tampoco para verlo por una reflexîon doble; pero debiendo alejarlo solo lo necesario para salvar estos inconvenientes, el espejo horizontal podrá colocarse, de modo, que sacando la alidada un poco fuera del limbo, se vea en él su misma imagen, y no ántes.

295 Determinado el lugar del espejo chico anterior, su posicion, y el lugar de la pínula resultan inmediatamente. La primera debe ser paralela al espejo grande (231), quando la alidada está en el origen de las divisiones, y la otra situarse en la línea (fig. 24) ó exe de vision *e*O, que es el rayo de reflexîon del incidente E*e*. Pero sobre este punto es de notar, que la pínula M (fig. 26) debe siempre establecerse con la proxîmidad posible al centro del instrumento; pues, aumentándose por este medio el ángulo O*e*Q (fig. 24), se disminuye al mismo tiempo la obliquidad de los rayos incidentes en el espejo grande, al observar ángulos muy abiertos.

296 La colocacion del espejo horizontal posterior es un punto muy delicado é importante. Este es-

espejo no puede estar en la direccion de los centros de los otros, porque entonces el chico anterior interceptaría los rayos que deben llegarle del espejo grande: y debiendo situarse á un lado, es necesario que quede respecto á aquella línea á la misma parte que el o del limbo respecto al punto de 90°, para que el espejo posterior no estorbe la vista de los objetos que deben percibirse por la reflexîon del anterior. Al mismo tiempo, como con la proxîmidad del espejo á aquella línea, aunque aumenta la obliquidad de sus reflexîones, disminuye la de las del espejo grande, que son mas importantes, por la gran longitud que debe darse á este espejo para abrazar un campo mediano en las incidencias muy obliqüas, el espejo horizontal posterior debe desviarse de dicha línea solo lo necesario para que el otro no le estorbe. Ultimamente, como la distancia entre estos espejos disminuye el campo de vista, la del horizontal posterior y de la alidada no deberá exceder la indispensable, para que la cabeza del observador no intercepte los rayos incidentes en el segundo espejo.

297 La precisa posicion del espejo horizontal posterior y de su pínula se determinarán despues facilmente; pues la primera deberá ser perpendicular al otro chico, y la segunda situarse en

la direccion (fig. 25) del rayo Oe' que seguiría reflectado el incidente Ee'.

298 Los vidrios obscuros deben situarse, de modo que debiliten los rayos reflectados en el espejo de la alidada, y que puedan mudarse detrás de los vidrios horizontales, quando se observe el Sol directamente. Con este fin, los artistas fixan el lugar de los vidrios obscuros en las líneas que pasan por los centros del espejo E y del horizontal correspondiente, segun se observe por delante ó por la espalda, para disminuir la intensidad de la luz de la primera imagen. Pero como, siendo grande (figura 24) el *ángulo* QeO *del instrumento*, apenas queda lugar para aplicarlos, sin que al mismo tiempo opongan obstáculo á los rayos incidentes, quando la alidada se halla al principio del limbo, es preferible el método de Mr. Hadley; que interponía los vidrios obscuros para debilitar los rayos del objeto ántes de la primera reflexîon.

Rectificaciones de los Quadrantes de reflexîon.

Rectificacion del espejo de la alidada. 299 Despues de construido el Quadrante, es necesario exâminar, si todas sus piezas son perfectas, ó averiguar

guar los errores que producen: y ántes de emplearlo, disponerlas como requiere la teórica para que sus medidas sean exâctas, inmediatamente ó con las correcciones que convengan.

300 Antes de executar estas operaciones, deberá quitarse todo juego á las piezas que lo tengan, pero cuidando al mismo tiempo de no forzar demasiado los tornillos; pues uno y otro defecto serían contrarios á la duracion y solidéz del instrumento, y á la permanencia de sus partes en las posiciones convenientes. El observador, que quiera caminar con precision en sus operaciones, no puede ignorar la necesidad de contribuir con sus diligencias á la utilidad de los medios de que se vale; y asi, no nos detendrémos en amontonar sobre este asunto las advertencias que la misma práctica le sugerirá al paso que le sean útiles.

301 Todos los espejos deben estar perpendiculares al plano del instrumento; pero como el de la alidada es el que generalmente se mantiene fixo, se principia por establecerlo en esta posicion, para compararle despues los otros. Á este fin se emplean las dos piezas representadas en las figuras 37 y 38, que constan cada una de un plano *ab*, *cd* y dos pilares perpendiculares con un bastidor corredizo por ellos, de los quales el de la fig. 37 conduce

otro plano con un solo agujero, y el de la fig. 38 un hilo tendido paralelamente al plano *cd*.

302 Colocado, pues, el Quadrante horizontalmente sobre una mesa con el limbo é indice ácia arriba: quítese la pínula (fig. 26) M, y córrase la alidada fuera del limbo, hasta que mirando desde K se vea la imagen del ojo en el espejo E; y déxese en esta situacion, poniendo alguna cosa debaxo del extremo exterior de la alidada, para que su peso no la doble ó fuerce el exe.

303 Situese la pieza de la fig. 37 sobre la superficie del limbo en K vuelta ácia el espejo E, de modo que mirando por el agujero *e* se vea su imagen reflectada en este espejo, y póngase la otra pieza á su lado con el hilo *fg* á la altura de la parte azogada del espejo E. Muévase el bastidor *hk*, hasta que los extremos *h*, *k* de la línea puntuada que cruza el agujero *e* se hallen exâctamente á la altura del hilo *fg*: y hecho esto, trasládese la pieza de la fig. 38 al espejo de la alidada.

304 Si mirando por el agujero *e* no se vé la imagen del mismo agujero cortada exâctamente en dos mitades por el hilo *fg* de la otra pieza, será seguro que el espejo E no es bien perpendicular al plano del instrumento: y en este caso se le dará el movimiento necesario, por los tornillos A, B, hasta

ta que se vean las imágenes como se requiere.

305 Repitiendo la misma operacion con la pieza de la figura 37 en diferentes partes del arco, se averiguará al mismo tiempo si la superficie de todo el limbo es bien plana, y el exe de la alidada perpendicular á ella; pues, si el instrumento es perfecto, la imagen del agujero debe verse en todo caso igualmente dividida por el hilo. Si asi no sucediese, el Quadrante debe excluirse, á ménos que las diferencias sean inconsiderables.

306 En defecto de las piezas descriptas, para poner perpendicular el espejo de la alidada, podrá usarse una regla de 7 á 8 pulgadas de largo, y 8 ó 10 líneas de ancho, cuyos lados sean bien rectos y paralelos. Para esto: colóquese la regla sobre el plano del limbo con su longitud perpendicular al espejo de la alidada, y si su imagen está en línea recta con la misma regla, el espejo será perpendicular al plano del instrumento.

307 En lugar de la alidada fuera del limbo, se vé, que las operaciones serán igualmente practicables, haciendo movible el espejo grande E al rededor de un exe perpendicular al plano del instrumento. Este artificio se halla empleado modernamente en varios instrumentos, como el Quadrante de Wright y otros; pero, para lograr todas las ven-

ventajas que puede proporcionar, es necesario que el espejo esté montado de un modo que facilite afianzarlo, ya á la alidada, ya al plano del instrumento, segun convenga. Magallanes explica por menor el método de executarlo y sus aplicaciones; pero nosotros no le seguirémos en esta parte, porque á la verdad nos parece demasiado expuesto á que los artistas medianos cometan en él grandes inexâctitudes, y, por consiguiente, muy dificil que su uso pueda hacerse tan general como parece ventajoso.

308 Pero como, no usando el espejo movible, aquellas operaciones (302, 306) exîgen un gran cuidado, para prevenir las malas conseqüencias que podrían resultar de desprender la alidada del cuerpo del instrumento, el siguiente método de Mr. de Bordá para el mismo fin es mucho mas cómodo y preferible. Colóquese el instrumento sobre una mesa como ántes, pero con la alidada ácia el medio del limbo: y ajustadas las dos piezas fig. 37, 38 con sus lados superiores *mq*, *op* á la misma altura, póngase cada una ácia un extremo del limbo KL. Mírese despues la imagen de la pieza en K representada en el espejo E, al mismo tiempo que se vea la otra en L contigua á su lado por vision directa: lo que se logrará facilmente moviendo algun tanto

to la alidada. En este caso, si los lados superiores de los dos bastidores parecen exâctamente á la misma altura, el espejo E será perpendicular al plano del limbo, y si no, se le inclinará hasta esta posicion, como hemos dicho.

309 Pero, para que el uso del espejo grande sea exâcto en todas posiciones, además de aquella ratificacion, es necesario asegurarse del exâcto paralelismo de sus dos caras, ó en su defecto, averiguar las correcciones que deben aplicarsele. Para esto, vuélvase el espejo de arriba para abaxo, y observando el mismo ángulo en ambas posiciones, la mitad de la diferencia entre los que indique el instrumento dará el error causado por la inclinacion de las superficies en este caso. Este error disminuye con el ángulo medido: y, repitiendo la operacion en diferentes grados, podrá formarse una tabla de correcciones, que deberá emplearse mientras el espejo continúe en el mismo estado. Vease este asunto tratado sublime y generalmente en la Navegacion de Mr. Bezout, cuyo método omitimos, porque siempre será mejor recurrir á la experiencia, para hallar la correccion particular que conviene á cada ángulo.

310 En la mar, por la facilidad de la práctica, tambien será muy útil el siguiente método de

Mr.

Mr. Adams. Manténgase el Quadrante horizontal, y aplicando el ojo obliqüamente ácia uno de los extremos del espejo, de modo que se vea al mismo tiempo una parte del arco por reflexîon y otra por vision directa, si ambas partes parecen en el mismo plano, ó forman una curva uniforme, sin que una suba mas que otra, el espejo estará en la posicion perpendicular al plano del Quadrante.

311 Establecido el espejo grande perpendicularmente al plano del instrumento, será facil dar la misma posicion á los horizontales. Para esto, tratando del anterior, póngase la alidada en el origen de las divisiones; y manteniendo horizontal el plano del Quadrante, obsérvese si la imagen de un objeto distante elegido en el horizonte coincide con el mismo objeto: si no, quando la imagen parezca mas alta que el objeto, aflóxese el tornillo delantero y apriétese el trasero, ó dése un movimiento equivalente por el tornillo único en el método de Dollond, y, quando la imagen parezca mas baxa, hágase lo contrario, hasta traer la imagen á la misma altura que el objeto, de modo que girando la alidada se lógre la exâcta coincidencia: en cuyo caso el espejo estará en la posicion que se desea.

312 En esta operacion podrá emplearse el mismo horizonte, y los objetos celestes, y este méto-

todo es el mas practicable navegando. En el primer caso, el plano del Quàdrante debe mantenerse horizontal, como hemos dicho, y ver si el horizonte y su imagen forman la misma línea recta, pero en el segundo la posicion del Quadrante debe ser vertical, y hacer las operaciones indicadas, quando las imágenes caigan á la derecha ó izquierda del objeto.

313 La rectificacion del espejo chico posterior podrá executarse al mismo tiempo que la del espejo grande. Para esto, quando la alidada esté fuera del limbo (302), póngase el ojo en la pínula posterior, y, eligiendo algun objeto distante en el horizonte, vuélvase la alidada, hasta hacer concurrir la imagen del objeto con el objeto mismo visto directamente por la parte diáfana del espejo chico e'. Si esta coincidencia no es exâcta, se emendará el defecto por medio de los tornillos (fig. 26) C y D, ó del único en el método de Dollond; y con esto, el espejo e' quedará perfectamente perpendicular al plano del instrumento.

Esta operacion podrá tambien hacerse en la mar, manteniendo el Quadrante en la mano, y empleando los objetos celestes ó el horizonte.

Ajustar el paralelismo del anteojo al plano del Quadrante. 314 Asegurada la posicion de los espejos, es despues indispensable

ble establecer el exe de vision ó del anteojo paralelamente al plano del instrumento; pues, sin este requisito, las observaciones serían erróneas (1).

315 Considerando el espejo grande como centro de una grande esfera, el ángulo indicado en el limbo, ó el duplo de la inclinacion de los espejos (231), es igual al de los radios tirados á los dos objetos que se comparan, ó arco de círculo máxîmo sobre que insisten, quando estos radios ó arcos

(1) Mr. Hadley en el corol. 5 p. 149 de su Memoria citada (Filosofic. transact. an. 1731 num. 420) investiga los errores que pueden resultar de aquel defecto, y aún en el *postscript* á la relacion de las observaciones hechas en el Yacht Chatham, los dias 30 y 31 de Agosto y 1º de Septiembre de 1732 (Phil. Trans. ann. 1732 num. 425 I) por orden del Almirantazgo para probar su Octante, apoya sobre esta correccion, y perfecciona la demostracion, que no creia bastante clara en el corolario. Asi, es bien extraño, como nota Magallanes, que el Astrónomo real Mr. Maskelyne diga positivamente en las mismas Transacciones, vol. 62 XV p. 102, que Mr. Hadley, por ignorar la importancia de este paralelismo, no dió reglas para poner el exe del anteojo paralelo al del instrumento; pues, al contrario, Mr. Hadley parece haber penetrado completamente la naturaleza de su instrumento, y atendido en su construccion con tino extraordinario, no ménos á las ventajas de la práctica, que á los principios de la teórica. De esto es buena prueba la referida Memoria, que no puede ménos de causar admiracion á qualquiera que la lea reflexîvamente.

cos están en un plano paralelo al del instrumento y perpendicular á la comun interseccion de los espejos. Pero, si inclinando el exe de vision al plano del instrumento, tambien varía la posicion de dicho plano, es claro, que la verdadera distancia angular de los objetos en coincidencia será el ángulo formado por los radios que abrazan un arco del mismo número de grados en un paralelo, situado á la distancia del desvío del primer círculo máxîmo. Asî se vé, que la cuerda del ángulo indicado, será á la cuerda del verdadero ángulo: como el radio, al coseno del desvío; y que, por consiguiente: el seno de la mitad del ángulo indicado, será al seno de la semidistancia angular entre los dos objetos: como el radio, al coseno del desvío.

316 La Tabla de las correcciones del desvío de Mr. Bordá está calculada por la analogía precedente; pero el Sr. Magallanes comete una injusticia, atribuyendo su teórica al mismo sábio académico, y olvida que Mr. Hadley la habia ya establecido en su corolario 5° num. 420, y mas distintamente en el num. 425, de la Transacc. filos. pag. 355. Veamos ahora los métodos que pueden practicarse, para evitar estos errores, dirigiendo con exâctitud el anteojo.

317 Montado el anteojo en el Quadrante,

 vuél-

vuélvase el tubo ocular, hasta que sus hilos queden paralelos al plano del instrumento : lo que se conocerá facilmente, con solo mirar por el anteojo. Elíjanse despues dos objetos lejanos, cuya distancia angular se acerque lo posible á 180°, ó á lo ménos á la mayor que mida el instrumento : y háganse coincidir sus márgenes mas próxîmos en el hilo mas cercano al plano del Quadrante. Altérese despues un poco la posicion de éste, hasta traer el punto del contacto de los dos márgenes al hilo mas distante del plano del instrumento; y si en este caso la coincidencia de los dos limbos continúa exâctamente como en el primer hilo, el exe del anteojo será paralelo al plano del Quadrante : si los dos objetos se muerden, el extremo ocular del anteojo estará inclinado ácia el mismo plano : y al contrario, si al trasladar los dos objetos al hilo mas distante, se separan, el extremo objetivo estará inclinado al plano del Quadrante : cuyos defectos se emendarán por medio de los tornillos *c*, *c* (fig. 34).

318 El método que acabamos de explicar es muy bueno para la mar; pero, haciendo la ratificacion en tierra, podrá emplearse con mas ventaja el de Mr. de Bordá, que es muy exâcto y simple.

Rectifiquese el instrumento como para observar por delante (325): y colóquese horizontalmente

te

te sobre una mesa, de modo que pueda verse distintamente algun objeto lejano. Póngase despues la pieza de la fig. 37 con el agujero á la altura del centro del anteojo ácia el extremo L del limbo (fig. 26), y la de la fig. 38 ácia el otro extremo K, habiendo ántes ajustado su hilo con el agujero de la otra, para que, mirando por este agujero, se vea cortado por aquel hilo el mismo objeto á que está dirigido el anteojo. Esto hecho: si la misma parte del objeto, que se vé cortada por el hilo de la pínula mirando por el agujero de la otra, corresponde tambien al medio del campo, mirándolo con el anteojo, el exe de éste estará perfectamente paralelo al plano del instrumento, y sino, deberá inclinarse hasta lograrlo.

319 Sin embargo, por si la coincidencia no se verifica en el exe de vision exâctamente, será siempre preciso saber el valor del campo del anteojo: y este exâmen puede hacerse por el siguiente método.

Habiendo dispuesto el instrumento como para observar por delante, póngase horizontalmente, volviendo el tubo de las oculares, hasta que sus hilos queden paralelos al horizonte. Obsérvese una estrella, el horizonte del mar, ú otro objeto que no tenga diámetro sensible, y manténgase visto directa-

tamente, tocando la parte superior del hilo baxo, mientras se trae su imagen á besar el hilo superior por su parte baxa: con esto el objeto y su imagen señalarán sus límites, y el número que indique la alidada en el limbo determinará el valor angular del campo. Para tener un resultado mas exâcto, la posicion del objeto podrá variarse, y mirarlo directamente sobre el hilo superior al mismo tiempo que se conduce su imagen sobre el inferior; pues la mitad del ángulo total indicado por estas dos observaciones, será el valor angular del campo comprehendido entre los hilos.

320 Las mismas operaciones podrán executarse, como es claro, observando un objeto que tenga diámetro sensible, como el Sol, Luna &c. La operacion tambien será mas facil, formando un quadradro perfecto con los hilos y los horizontes vistos directamente y por reflexîon (327), pero siempre convendrá repetirla muchas veces, para tomar el resultado medio.

321 Determinado el valor del campo, no habrá mas que estimar, que parte de su ángulo total es la comprehendida entre el punto medio y el en que se verificó el contacto, y por ella deducir la correccion correspondiente.

322 La inexâctitud de las divisiones del limbo

bo es otro origen de error, que, pudiendo producirlos considerables á pesar de la perfeccion y exâcto arreglo de las demás piezas, debe exâminarse con suma escrupulosidad, ántes de emplear el instrumento. El método que á este fin se usa ordinariamente consiste en tomar con él todos los ángulos al rededor del horizonte, y si la suma total compone 360°, se juzga exâcta la magnitud del limbo. Esta operacion exîge que todos los objetos, que deben ser muy distintos, se hallen bastante distantes y en el mismo plano, y el resultado será, tanto mas exâcto, quanto mas se repitan, para tomar un medio.

323 Pero como no es facil hallar un horizonte enteramente descubierto y con objetos que dividan su circunferencia con la distincion que se requiere, este defecto podrá suplirse, por el siguiente método aplicable á todas circunstancias.

Necesitando solamente la diferencia entre el ángulo indicado en el limbo y el verdadero, todo consiste en medir sucesivamente varios ángulos con un Grafómetro, Teodólite &c., y despues con el Quadrante, para formar una tabla de las correcciones que deban aplicarse á cada division del limbo. Esto puede executarse con mucha precision, estableciendo el instrumento de firme y horizontalmente en

en una llanura, y situando al redèdor del centro del espejo grande varios piquetes ú otras marcas equidistantes; pero en su defecto son útiles los edificios ó qualquier otro objeto bien terminado, y aún, teniendo bastante cuidado, el instrumento podrá mantenerse con la mano. Sin embargo, es de notar, que, quando los objetos vistos directamente están á distancias desiguales del centro de dicho espejo y capaces de hacer sensible el ángulo paraláti-co, será indispensable ajustar el instrumento á cada medida, como despues dirémos, esto es, hacer que la imagen coincida con el mismo objeto; pues de lo contrario, las medidas serían evidentemente erróneas.

324 Parece inútil advertir, que la tabla formada por estas experiencias comprehenderá las correcciones totales procedentes de los defectos, tanto en la graduacion del limbo, como en el paralelismo de las caras del espejo grande (309); y que, por consiguiente, usando dicha tabla, mientras no se alteren los espejos ni su disposicion, las observaciones resultarán casi tan exâctas con un mal instrumento, como si se hiciesen con el mas perfecto.

Modo de practicar las observaciones con los Quadrantes de reflexîon.

Rectificacion preparatoria. 325 Rectificado el instrumento por los métodos anteriores, solo resta disponerlo de modo que los grados que indique la alidada dén la verdadera distancia angular entre los objetos, ó de lo contrario, averiguar la correccion que deba aplicársele. Para esto, no hay mas que poner en coincidencia la imagen del objeto que se vé directamente con el mismo objeto, quando se halla la alidada en el origen de las divisiones, esto es, quando el o del vernier ajusta con el o del limbo, ó ver el punto que indica la alidada en esta coincidencia, para saber la cantidad constante que debe añadirse ó restarse del ángulo indicado: la qual llamarémos *error del indice.* Para las observaciones celestes, qualquier objeto lexano distinto y bien terminado puede emplearse en esta operacion, y, ajustado una vez el instrumento, dirigirse indiferentemente á los astros que convengan; pero, quando la proxîmidad de los objetos produce un ángulo paralático sensible, como en las aplicaciones terrestres, el ajuste debe hacerse en cada caso con el objeto que se vea directamente (231). De todos modos, es-

esta, que denominarémos *rectificacion preparatoria*, es sin duda una de las mas importantes, y el observador, que aspire á toda la exâctitud posible, deberá verificarla ántes y despues de tomar qualquiera distancia angular, para asegurarse de que el instrumento no ha padecido alteracion en el intermedio.

326 En la mar comunmente se emplea el horizonte, manteniendo el Quadrante vertical, y moviendo el espejo chico por medio de su palanquilla, hasta que el horizonte y su imagen estén en línea recta: en cuya posicion se asegura por el boton de tornillo á este propósito. Pero el método es generalmente practicable con qualquier astro, como el Sol, Luna, ó alguna estrella.

327 Sin embargo, siempre que se use el anteojo valiéndose del horizonte, convendrá mas bien determinar el error del indice, formando un quadrado perfecto con los hilos focales y las líneas de los horizontes directo y reflectado, y mover la alîdada, para poner sucesivamente superior é inferior el lado de la imagen; por cuyo medio se deducirá facilmente el verdadero origen de las divisiones.

328 Del mismo modo, siempre que la rectificacion se execute con algun objeto luminoso bien terminado y de diámetro sensible, á la coincidencia total es preferible el solo contacto de la imagen

con

con su objeto. Este contacto podrá verificarse con la alidada en el origen de las divisiones, y despues restar ó añadir al ángulo indicado en el instrumento el diámetro aparente del objeto, que será entonces el error del indice.

329 Pero el método mas ventajoso es el de producir el contacto en dos extremos opuestos del objeto sucesivamente, y deducir el punto medio de los indicados por la alidada en ambos casos, que será el principio de donde deben contarse los ángulos observados.

330 En estas operaciones, como en todas las semejantes, se usarán los vidrios obscuros, para mirar los objetos ó imágenes brillantes; pero sobre este punto no amontonarémos reglas, porque la misma ocasion dictará el lugar y la especie de los que convengan. Sin embargo, es digno de noticia el artificio discurrido por Mr. Maskelyne para servirse del Sol, colocando detrás del espejo horizontal un vidrio obscuro para interceptar los rayos directos, dexando libres los reflexos. Este método es muy útil, por la facilidad de distinguir con precision el contacto de la imagen del Sol en la parte transparente, y Mr. Dollond lo ha perfeccionado, montando los vidrios obscuros, de modo que pueden, girando, llevarse detrás del espejo horizontal que se usa.

331 La rectificacion preparatoria del espejo posterior se hace por los mismos principios, verificando la coincidencia con dos objetos diametralmente opuestos, ó atendiendo, si no, al ángulo que forman los rayos dirigidos al centro del espejo grande. En el primer caso puede ponerse la alidada en el origen de las divisiones, y mover por su palanquilla el espejo E (fig. 26), hasta que la imagen del objeto H′ (fig. 25), que cae detrás del observador, coincida exâctamente con el otro objeto H, visto directamente; y entonces, los números del limbo indicarán los verdaderos ángulos medidos.

332 En el segundo caso, sabiendo el valor
Fig. 25. del ángulo H′E*h* que forma el rayo *h*E con H′EH, podrá tambien hacerse nulo el error del indice, poniendo la alidada en un grado del arco principal ó del excedente igual al mismo ángulo, y verificando en esta posicion la concurrencia de la imagen del objeto con el otro visto directamente.

333 Por tanto, quando se empleé el horizonte del mar, no hay mas que tomar el duplo de la depresion actual (376) en el arco de exceso, y fixar la alidada en la division correspondiente, para verificar asi la coincidencia; y el instrumento quedará rectificado, para medir sin correccion alguna toda especie de distancias angulares posteriores

res entre objetos lexanos.

334 Pero si lo que se quiere es únicamente tomar la altura de los astros, se vé, que, verificando la coincidencia de *h* y H con la alidada en o, la observacion dará inmediatamente la misma altura, ó lo que es lo mismo, la distancia angular aparente entre el astro S y el punto del horizonte sensible que cae debaxo (232).

335 En todo caso, la rectificacion del espejo podrá hacerse por el horizonte y sin conocer la depresion del siguiente modo. Verificada la coincidencia como ántes (331), vuélvase el instrumento de arriba para abaxo, quedando el limbo superior al centro; y, manteniéndolo vertical con el cuidado de inclinar la cabeza para no estorvar el pasage de los rayos de la parte posterior del horizonte, repítase por el movimiento de la alidada la misma coincidencia. Si la suma de los ángulos indicados [1] en ambas ocasiones es igual á 360°, el error del indice del instrumento será nulo: y si no, muévase el espejo *e'* hasta que se consiga, ó aplíquese á las observaciones una correccion igual á la mitad de la di-

(1) Es necesario tener presente, que, en las observaciones posteriores, la distancia comprehendida por los objetos es el suplemento de la que indica el instrumento.

diferencia entre la suma y los 360°.

336 En esta operacion, la diferencia de los ángulos dá el duplo de la depresion que se ignoraba.

337 El error del indice podrá tambien hallarse por los siguientes métodos. Elegidos en el horizonte dos objetos lexanos, diametralmente opuestos ó á corta diferencia, diríjase la vista á uno de ellos, manteniendo horizontal el plano del Quadrante con su cara arriba, y en esta disposicion muévase la alidada, hasta que la imagen del objeto que cae detrás coincida con el visto directamente. Vuélvase despues el Quadrante con su cara inferior, y, dirigiendo la vista al mismo objeto que ántes, muévase la alidada, hasta verificar la misma coincidencia. Nótense en ambas ocasiones el número de grados que indica la alidada, y la mitad de su diferencia será el error del indice: correccion que es aditiva á las distancias angulares indicadas, quando el primer número es menor que el segundo, y substractiva en el caso contrario.

338 Esta operacion será mas cómoda, si, en lugar de trastornar el instrumento, el mismo observador da un giro, para tomar por vision directa el visto por reflexîon ántes; pues, si la suma de las dos distancias indicadas no es igual á 360°, se move-

verá el espejo, ó deducirá la correccion correspondiente.

339 Ultimamente se ocurre, que, si despues de haber rectificado el espejo anterior exâctamente, se mide el mismo ángulo por delante y por la espalda, resultará en la diferencia el error del indice en las observaciones posteriores.

340 La rectificacion preparatoria del espejo posterior es ménos facil que la del otro, porque cuesta alguna atencion hallar la imagen del objeto que está detrás; pero, siendo necesario en muchas ocasiones medir grandes distancias angulares, no tiene duda que las observaciones por la espalda son muy importantes; y que, por consequencia, todo Piloto debe exercitarse en ellas, hasta lograr facilidad de practicarlas: lo que conseguirá sin duda con muy poco tiempo y maña. Sin embargo, para desvanecer este obstáculo, que ha estorvado á la mayor parte de los navegantes hasta el emprenderlas, se han discurrido varios medios, y entre ellos merecen particular noticia los siguientes.

Mr. Dollond, á la pieza sobre que está montado el espejo posterior *e* añade una regla de laton *Fig. 26.* que lo hace girar sobre su exe, segun conviene: en el plano del instrumento señala dos rayas, tales, que ajustando la correspondiente en la regla á una

y

y despues á otra, la regla corre un ángulo de 90°; y, por consiguiente, el espejo chico se halla en dos posiciones perpendiculares sucesivamente. Con esto se vé, que fixando el espejo chico en una marca, y poniéndolo por medio de su palanquilla paralelo al espejo grande, quando la alidada se halle en o (mirando por una pínula situada convenientemente), no habrá mas que girar la regla, hasta ajustarla á la otra raya: donde, asegurado el espejo chico, quedará perpendicular al espejo grande. La rectificacion del espejo chico posterior es de este modo tan facil y casi tan exâcta como la del anterior, y en esta parte, con los resultados de muchas experiencias, podemos corroborar lo que opina Mr. Maskelyne; pero tambien es cierto, que el instrumento que empleamos en ellas es del mismo Mr. Dollond, y que un artista ménos habil haría insuficiente su bello pensamiento.

341 Método mas facil parece el discurrido últimamente por Mr. Blair. Este método no complica el simple aparato de un Octante comun, y solo requiere que el canto inferior del espejo grande, pulido con la perfeccion posible, se dexe descubierto; pues, siendo la superficie de este canto perpendicular á la azogada, no hay mas que ponerlo paralelo al espejo chico por la imagen reflecta-

tada en el mismo canto, para que queden los dos espejos exâctamente paralelos. La práctica de la rectificacion es asi la misma que la del espejo anterior, y solo parece que podían quedar escrúpulos sobre su posibilidad y ventajas en algunas circunstancias de que el mismo Mr. Blair se hace cargo, satisfaciendo á ellas (vease la descripcion de su método en el Almanak náutico para el año de 1788). La experiencia es el único juez del mérito de las cosas prácticas, y no es dudable que los artistas ingleses nos pondrán muy breve en estado de saber, si en realidad el pensamiento es tan útil como simple.

342 Dispuesto ya el instrumento para tomar con exâctitud qualquiera distancia angular celeste, veamos qual es el método de practicar las observaciones.

343 En primer lugar, el instrumento para las observaciones anteriores generalmente se sostiene, asiéndolo con la mano derecha por el cuerpo del Quadrante ó por una manigueta, y entonces se mueve la alidada con la izquierda y se aplica el ojo derecho; pero en las observaciones posteriores se invierte el oficio de las manos y ojo. En estos asuntos, sin embargo, no hay reglas generales, y aún quando las hubiese sería inútil desmenuzarlas; pues la misma práctica enseñará al observador todas las

 ma-

mañas de que debe valerse, para no fatigarse, y mantener con firmeza el instrumento en la posicion que se le antoje.

344 Situado el instrumento en un plano paralelo al determinado por el ojo y los dos objetos, será facil traer dentro del campo de vista la imagen y el objeto directo: ya poniendo ántes la alidada en la distancia angular, que se conoce á corta diferencia: ya mirando la primera imagen en concurrencia con su objeto, y moviendo segun su plano el instrumento al mismo tiempo que la alidada, para conservar la imagen en el anteojo hasta descubrir el objeto. En esta proxîmidad, se asegura la alidada con el tornillo inferior, y se usa el otro hasta producir el perfecto contacto en el exe de vision, ó en el medio del espacio comprehendido entre los hilos que ántes se situaron paralelos al plano del Quadrante.

345 Pero como el toque aparente no asegura con bastante certeza la exâctitud de aquel contacto, es necesario despues mover el instrumento, de modo que, haciendo girar la imagen ácia derecha é izquierda, se vea que su circunferencia y la del objeto directo solo coinciden en un punto. Para esto, el movimiento mas adequado sería el de rotacion al rededor de una línea tirada del ojo al ob-



objeto tomado por reflexîon como exe; pues es evidente, que, conservando su imagen en el exe de vision, la distancia entre este objeto y qualquier otro visto directamente en coincidencia con ella sería siempre la que indica el instrumento. Pero, como la atencion á contemplar la imagen no permite juzgar con bastante acierto de esta especie de rotacion, en la práctica podrán (1) substituirsele dos movimientos diferentes, como sigue. Verificado el contacto, debe moverse el instrumento un poco de derecha á izquierda, como si girase sobre el exe de vision ó del anteojo: el observador al propio tiempo debe moverse sobre sí mismo, girando un poco á la derecha ó izquierda, y conservando siempre la imagen en el lugar conveniente, ó en el punto del espejo chico que se halla á la misma distancia que su ojo del plano del instrumento. Con es-

(1) Estos dos movimientos no equivalen rigorosamente al primero, como el mismo Mr. Maskelyne que los prescribe ha confesado; pero en la práctica será suficiente por lo comun y el observador podrá combinar como quiera los movimientos del instrumento y de su cuerpo, para producir el efecto de la rotacion al rededor de la visual al objeto visto por reflexîon. Veanse sobre este asunto las reflexîones citadas y las Cartas de Mr. Maskelyne y Ludlam insertas en el Gentleman's Magazine de Londres, Septiembre y Octubre de 1772, y Enero de 1773.

esto, la imagen describirá una porcion de círculo al rededor del objeto: el punto en que este círculo toca el horizonte ú objeto directo será el del verdadero plano que pasa por ambos, y el número indicado en el instrumento dará la distancia que se busca.

346 La importancia de los dos movimientos se echa de ver con particularidad en las alturas; pues sin este método, que asegura el contacto en el punto del horizonte á que corresponde el vertical del astro, no se hallaría facilmente este punto donde la imagen rasa con mas proxîmidad el horizonte.

347 En el modo de manejar el instrumento, debe atenderse aún, á evitar los yerros que puede producir la flexîbilidad y elasticidad de la alidada, complicada con la friccion del exe sobre que gira. Estos yerros, que pueden ser muy considerables, no se escapáron á la perspicacia de Mr. Hadley, quien, en esta atencion (pag. 154), prescribe hacer ancho el extremo central de la alidada, y su movimiento tan suave como permita la necesidad de la estabilidad perfecta: y por la misma razon, tambien los buenos artistas actuales nunca dexan de guarnecer la alidada de la costilla ó barra que indicámos. Pero como es de recelar, que al fin resulten

ten pocos instrumentos bastante perfectos para despreciar aquella causa, uno de los cuidados en el uso del Quadrante debe dirigirse á evitar estos efectos. Esta consideracion se halla, sin embargo, generalmente desatendida, y su importancia nos estimúla á explayarnos algo sobre ella.

348 Oponiéndose la resistencia de la friccion del exe á la rotacion de la alidada, es claro, que ésta cederá por su flexîbilidad, y correrá una parte del limbo ántes de mover el espejo. Del mismo modo, forzada la alidada por el tornillo contra el limbo y puesta despues en libertad, su elasticidad producirá un efecto semejante, y el extremo indice correrá una parte del arco en sentido contrario al del último movimiento. Esto puede experimentarse facilmente con un Quadrante que tenga tornillo para mover el indice gradualmente; pues, poniéndolo despues de hecha la observacion sobre una mesa y notando el ángulo indicado, si, despues se afioja cuidadosamente el tornillo inferior, se verá dar un salto sensible á la alidada, á ménos que el instrumento esté muy bien construido.

El error resultante de aquella causa, depende de la relacion entre las direcciones del movimiento de la alidada al concluir la observacion, y rectificar el instrumento ó hallar el error del indice.

Y, considerando su naturaleza, resulta por regla general para evitar estos efectos, que en todas las observaciones, la alidada debe moverse para concluirla en el mismo sentido que para rectificar ó hallar el error del indice.

349 Supuesta, pues, la alidada libre de este yerro, y aplicando las correcciones que puedan subsistir precisas en un instrumento bien preparado, como las de indice (325), y limbo (324), ambas aditivas ó substractivas segun los casos, y la accidental del desvío, que es siempre substractiva (315), resultará últimamente la precisa distancia angular de los objetos ó puntos comparados.

350 Sin embargo, como el uso del Quadrante para tomar altura, queda siempre limitado al caso de ver el horizonte, y, siendo muy comun que la noche ú otros obstáculos lo hagan confuso ó invisible, se han discurrido varios medios para suplir este término de comparacion, y medir las elevaciones con la única presencia del astro, que es como se practíca en tierra.

351 La superficie de un fluido es la primera que se ocurre; pues, manteniéndose siempre de nivel, es claro, que comparando el astro á su imagen reflectada en el fluido, puede medirse inmediatamente el duplo de la altura. En efecto: siendo

do ECQ la superficie del fluido, S el Sol, y O el ojo que vé su imagen en S′, tendrémos (227) SCE=OCQ=ECS′; y, por consiguiente, SCS′ =2SCE: esto es, el ángulo SCS′ igual al duplo de la altura del Sol; de donde se sigue, que, observando con el Quadrante la concurrencia de la imagen en los espejos con la otra S′, la mitad del ángulo indicado será la altura que se busca. Para impedir la accion del viento en la superficie reflectante, el vaso ó caxa, dada de negro interiormente, puede cubrirse de una especie de techo ó caballete, formado por dos cristales bien perfectos (290) y montados, de modo que puedan girar y afianzarse en la posicion que convenga, á fin de que los rayos SC, CO, quedando perpendiculares á sus planos, no padezcan refraccion alguna al penetrarlos. En esta disposicion, el horizonte artificial, de agua, mercurio, ú otro fluido adequado á la brillantez del objeto, servirá con suficiente exâctitud al fin propuesto, mientras alguna causa extraña no altere el nivel de la superficie. Pero, como las agitaciones del buque producen indispensablemente este defecto, aquel medio, aunque útil en tierra, no lo puede ser igualmente navegando. *Fig. 39.*

352 Para vencer los inconvenientes del fluido, Mr. Serson imaginó un instrumento muy curio-

rioso, con el qual se propuso asegurar la posicion horizontal de un espejo, á pesar de los movimientos de la nave. Mr. Serson observó, que un trompo ó peón rotando continúa siempre vertical: muévase ó esté fixo el plano sobre que descansa, esté inclinado ú horizontal el mismo plano; por donde infirió, que, guarneciendo el trompo de un espejo perpendicular á su exe, y comunicándole un movimiento circular muy veloz, mientras éste durase, la superficie reflectante sería paralela al horizonte. Para encerrar el trompo en el mismo lugar, Mr. Serson tambien discurrió hacerlo girar dentro de un vaso ó copa; pues, por las consideraciones anteriores era claro, que mientras el trompo solo la tocase con la punta, su posicion vertical permanecería constante. Esta máquina, que acarreó la pérdida de su inventor en el navío inglés la Victoria en que fué á probarla, ha recibido despues muchos grados de perfeccion del Socio de Londres Mr. Smeaton; pero como ignoramos la decision de las experiencias, y si acaso se han repetido sobre su mérito, omitimos las particularidades que podrían servir para dirigir á los instrumentarios en la construccion de este artificio.

353 Mr. Juan Robertson, como mejor medio que el trompo, propone una caxa circular de

unas

unas 3 pulgadas de diámetro y $\frac{1}{2}$ pulgada de fondo con una libra ó mas de azogue dentro, y nadando en él un pedazo de cristal, ó un espejo metálico de diámetro algo menor que el de la caxa. Este aparato, montado en la suspension de Cardano, producirá en la superficie del espejo un horizonte artificial bastante perfecto, segun el dictamen de Mr. Robertson.

354 La importancia de poder observar la altura de los astros en la mar sin descubrir los términos de su superficie, habia producido ántes muchos esfuerzos, para inventar instrumentos que llevasen consigo el horizonte: y á la verdad, este parece el principal objeto que dictó á la Academia de las Ciencias de París el asunto del prémio para 1746. Mr. Daniel Bernoulli, conducido de aquellas miras, dá el medio de conocer la verdadera direccion vertical en la mar á pesar de las agitaciones del buque, fundado en la medida de los ángulos que forman entre sí varios péndulos movibles al rededor del mismo exe. El sábio autor anónimo de la Memoria latina, que dividió el prémio con la de Mr. Bernoulli, dá tambien un artificio bastante ingenioso para corregir los desvíos del aplomo, por medio de un nivel de aire circular, ó de dos tubos comunicantes. Y las otras tres Memorias que con-

currieron con aquellas, mereciendo con los elogios de la Academia lugar en la coleccion de las premiadas, contienen varias reflexîones y pensamientos ingeniosos sobre el mismo asunto. Antes que apareciesen estas producciones, Mr. Hadley (Transacc. filos. 1733) habia tambien pensado adaptar el Quadrante astronómico á los usos náuticos, fixándolo á un poste y supliendo el aplomo por medio de un nivel de forma particular: y Mr. Bouguer, año 1729 (Prix de l' Academie), Mr. Meynier año 1724 (Recueil de Machines), Mr. Radouay, 1727 (Remarques sur la Navigation), Mr. de Montigny y un anónimo, año de 1728 (Recueil des Machines), y Mr. Elton año de 1732 (Transacc. filos. num. 423) inventaron igualmente varias suspensiones ó métodos para el mismo objeto; pero en la práctica se hallan todas igualmente deshechadas. Resta pues que hacer este importante adelantamiento en la Astronomía náutica, y probablemente solo se conseguirá con los últimos grados de perfeccion del arte.

DE LOS CIRCULOS DE REFLEXION.

355 La descripcion y juicio de las alteraciones que, con diferentes pretensiones y miras, han intro-

troducido varios artistas en los Quadrantes de reflexîon, serían solo propios de un tratado particular sobre estos instrumentos, y á nosotros nos distraería de nuestro principal objeto. Pero como este exîge, que el ceñirnos á lo mas útil, sea sin omitir cosa importante, nos juzgamos en la obligacion de dar á conocer el Círculo de reflexîon de Magallanes, particularmente quando, con la experiencia por garante, podemos asegurar su perfeccion al mismo tiempo que recomendar su uso.

356 Hemos dado el nombre de Magallanes al Círculo de reflexîon de que tratamos, porque, aunque Mr. de Bordá lo inventó igualmente, la descripcion completa de este instrumento la debemos al primero, y los modelos que conocemos fueron construidos baxo su direccion en Londres. El célebre Mr. Mayer, á la verdad, es el primer inventor de los Círculos de reflexîon, pero no tiene duda que, á pesar de su fértil ingenio, las ventajas que se propuso al darles esta forma no son todas las que ahora los constituyen superiores á los demás instrumentos de su especie, para muchos usos. Vease el Tratado de Magallanes sobre los Instrumentos circulares.

Descripcion del Círculo de reflexîon. 357 La fig. 40 representa un Círculo de reflexîon visto por su

 pla-

plano superior. La circunferencia está dividida en 720 partes iguales, ó medios grados, que por la propiedad fundamental de los instrumentos de reflexîon equivalen á grados completos en las observaciones (230). Al rededor del centro ruedan sobre un exe las alidadas AB, EF, independientemente. La primera, que es la principal y contiene tanto el anteojo CB como el espejo horizontal D, tiene en el extremo A los dos tornillos necesarios (240) para fixarla y moverla lentamente, pero en el otro solo un resorte para mantenerla coincidiendo con el plano del instrumento. La distancia de esta alidada al centro E, debe arreglarse á la magnitud del espejo central *bb* y á la abertura del anteojo.

358 El espejo chico *dd* se engasta en un medio bastidor con los correspondientes tornillos para ponerlo bien perpendicular al plano del Círculo, es tan alto como el central, y solo tiene una tercia parte azogada, á corta diferencia como en los Quadrantes (255, 259). Pero este espejo en los nuevos instrumentos requiere ciertas atenciones que no son tan precisas en aquellos. Estas provienen de que en la observacion cruzada (365), todo el espacio *d*E*d* ocupado por el espejo chico es inútil, y por consiguiente necesario alejar los dos espejos todo lo posible, y reducir el ancho del *dd* al campo

de

de vista del anteojo, para disminuir el ángulo perdido.

359 El método de Mr. Bordá para fixar el anteojo sobre la alidada de este instrumento es mas perfecto que en los demás y muy ingenioso. Consiste el método, en afianzar el anteojo á dos bastidores corredizos en las aberturas de dos montantes salientes de la alidada: los bastidores se mueven y llevan consigo el anteojo, por medio de dos tornillos *m*, *n*, que, hechos con las mismas roscas, proporcionan, que, rectificado una vez el anteojo, pueda subir ó baxarse, sin alterar su paralelismo.

360 El método de aplicar los vidrios obscuros á los instrumentos circulares es tambien de Mr. Bordá y muy ventajoso. Cada vidrio obscuro, que es precisamente de la misma magnitud que el espejo grande, entra por dos pies en las aberturas *r*, *s*, donde queda sujeto delante del espejo, de modo que estando muy proxîmo por la parte *r*, forma con el plano del espejo un ángulo de 4°, como manifiesta la figura. Esta inclinacion disipa la luz falsa con que aparecen los objetos celestes, quando se miran por un vidrio obscuro perpendicular al rayo visual: y en la distincion que de aqui resulta, consiste la gran ventaja de este método.

361 Pero, para no confundirse, es necesario te-

tener presente, que además de la del espejo, la reflexîon en la primer superficie del vidrio obscuro producirá otra imagen del objeto que debe despreciarse. Ambas imágenes distarán bastante, para no aparecer al mismo tiempo en el campo del anteojo, y siempre se distinguirán facilmente, atendiendo á que la útil será mas viva y tendrá el color del vidrio obscuro, mientras que la otra carecerá de color y será muy débil.

362 Tambien se vé, que de este modo, tanto el rayo incidente, como el reflectado en el espejo central, pasan por el vidrio obscuro; y que así, estos deberán elegirse de la mitad de la fuerza que tienen los que se emplean en los Quadrantes ordinarios.

363 La segunda alidada FE, que lleva el espejo grande, tiene en su extremo F los dos tornillos que la otra, y su inclinacion debe ser tal, que, quando los espejos sean paralelos, el cero de su vernier señale el punto medio del arco *an*.

364 Entendida la idéa del instrumento y lo dicho sobre los de reflexîon, se ocurrirá facilmente el modo de situar los espejos en su debida posicion y el de exâminar la exâctitud de todas las demás partes del Círculo. Veamos ahora en que se diferencia su práctica de la de los otros.

Prác-

Práctica del Círculo de reflexîon. 365 El uso del Círculo de reflexîon no requiere rectificacion preparatoria, y establecidos sólidamente los espejos perpendiculares á su plano, el instrumento se halla en disposicion de medir toda especie de distancias angulares. Para esto: póngase el o del vernier de la alidada grande AB en el origen de las divisiones, ó grado 720 del círculo: y, manteniendo el instrumento por una manigueta que se le entornilla en la parte posterior del centro, mírese directamente el objeto que cae á la izquierda, y moviendo la otra alidada FE, hágase coincidir con aquel la imagen del otro objeto, como se practíca en los Quadrantes ordinarios. Esto executado: fíxese la alidada chica por su tornillo de presion, y, dexando en libertad la grande AB, muévase hasta verificar la misma coincidencia, tomando por vision directa el visto por reflexîon ántes (esta segunda es la que Mr. de Bordá llama con mucha propiedad *observacion cruzada*): y en esta disposicion asegúrese la alidada AB. Considerando el movimiento de los rayos de luz durante la operacion, es evidente (229), que el número de grados indicados por la alidada AB será igual al duplo de la distancia aparente entre los objetos observados.

366 Quando la distancia angular varía entre

las

las dos coincidencias, la deducida por el instrumento, es claro, que no será la que convino á alguno de los instantes de las dos observaciones. En este caso, quando la distancia varía uniformemente, ó el interválo es bastante corto (como sucede siempre) para suponerlo sin error sensible, la mitad del número de grados del instrumento dará la exâcta distancia aparente á que se hallaron los objetos en el instante medio.

367 Las mismas operaciones podrán aún repetirse, no siendo las distancias excesivas, y medir sucesivamente su quadruplo, sextuplo &c. Para esto, habiendo procedido como ántes: fixese la alidada AB, y muévase la otra FE, hasta verificar la coincidencia de las imágenes, mirando por vision directa el objeto de la izquierda. Asegúrese en este estado la alidada FE, y suéltese la otra para moverla hasta repetir la coincidencia, tomando por vision directa el objeto de la derecha: y en este caso el quarto del número indicado será la distancia angular entre los objetos. Para proseguir adelante, se vé, que no hay mas, que ir alternando los objetos directos y los oficios de las alidadas.

368 Es de advertir y se echa de ver facilmente, que, en lugar de la alternativa, se tendrá igual resultado, tomando siempre el mismo objeto

por

por vision directa, é invirtiendo la posicion del instrumento en ambas observaciones: por exemplo, si se suponen los objetos en el mismo almicantarát, haciendo la observacion por delante con la cara del Círculo ácia arriba, y la cruzada con la cara abaxo. Esto puede ser conveniente, quando uno de los objetos sea demasiado obscuro ó brillante para visto por reflexîon ó directamente, como sucede en las distancias de Sol á Luna.

369. Las grandes ventajas que constituyen los instrumentos circulares preferibles á los demás de reflexîon son, pues: 1. la de no necesitar rectificacion preparatoria: 2. la de compensarse en las dos partes de la observacion los errores procedentes de los defectos de los espejos. La razon é importancia de estas ventajas son demasiado patentes para detenernos en explicarlas; pero, además de aquellas dos principales, se encontrarán otras no despreciables en su uso. Estas se reducen: 1. á corregir, ó á lo ménos disminuir, las imperfecciones de las divisiones del limbo y excentricidad del indice: 2. á descubrir facilmente los defectos del plano del círculo (305): 3. á la facilidad de mantener el instrumento en qualquier posicion, por caer el centro de gravedad próximo al de figura en que está la manigueta: 4. al facil manejo del instrumento, por

razon de la mediocridad de su volumen y peso.

370 Pero la última ventaja está ligada á otro inconveniente, que nos parece de mas conseqüencia. El poco peso, al mismo tiempo que hace mas cómodo el manejo y manutencion del instrumento, disminuye su estabilidad considerablemente, por la menor resistencia que le queda contra las impresiones de las causas extrañas. La pequeñez de las divisiones es tambien otro defecto, tanto por el riesgo de equivocar la coincidencia del vernier, como por el de los errores de execucion; pues, aunque los artistas ingleses hayan llegado á un admirable grado de perfeccion en este punto, no tiene duda que sus medios lograrán siempre mejor efecto en los instrumentos grandes. Por estas consideraciones, que dicta la razon y ha confirmado la experiencia, convendrá, pues, hacer los Círculos de reflexîon de [1] 15 á 16 pulgadas inglesas de diámetro; con lo que lejos de ser mas incómodos, seguramente facilitarán la práctica de las observaciones.

371 Para satisfacer al público marino sobre la preferencia que con su autor damos á los instrumentos circulares, no nos parece fuera del caso produ-

(1) Los de Magallanes remitidos en las Colecciones de España son de 10 pulgadas.

ducir los testimonios de los Tenientes de Navío D. Dionisio Galiano y D. Alexandro Belmonte, quienes en el viage de la Fragata Santa Maria de la Cabeza al estrecho de Magallanes lo usaron freqüentemente y compararon á dos excelentes Sextantes de Nairne y á un Quintante de Wright: y si quedasen algunos escrúpulos sobre sus ventajas, creemos poder disiparlos con el segundo exemplo de la observacion de longitud que presentámos, el qual no daría sin duda un resultado tan conforme, si el instrumento circular con que se tomó la distancia fuese ménos perfecto de lo que juzgamos.

372 El asunto actual naturalmente nos conduce á dar alguna idéa de otros adelantamientos hechos en los Quadrantes de reflexîon por el Sr. Magallanes. Este sábio, cuyas producciones tienen la utilidad pública por característica, estimando justamente las ventajas de los instrumentos circulares, se propuso dotar de alguna parte de ellas á los Sextantes comunes: lo que logró, haciendo movible el espejo chico *e* sobre su exe, y sujetando al limbo una pínula volante, de modo que no impide la rotacion de la alidada. El Sextante, en esta disposicion, puede emplearse lo mismo que los Círculos; pero su uso queda limitado á los ángulos de ménos de 60°, ó de la mitad de los grados que indique el limbo. *Fig. 26.*

Vease la última parte del Tratado sobre los Círculos de reflexîon.

373 Invencion mas general es la de los Sextantes nuevos del mismo autor[1], y su teórica tan bella, que solo faltarles la confirmacion de la experiencia, podia hacer que no los describièsemos particularmente. El principio fundamental de la construccion de estos instrumentos consiste en disponer los espejos horizontales del Quadrante, de modo que puedan girar sobre un exe comun, y determinar sus inclinaciones respectivas, por medio de su paralelismo con el espejo del indice: valiéndose para esto de las mismas divisiones del limbo del instrumento.

374 Considerando este principio, se percibe desde luego, que, determinando la posicion de los espejos, el instrumento podrá ponerse en estado de medir la distancia angular que se quiera, aunque exceda al valor del limbo. Á estas pueden agregarse otras ventajas considerables, que se hallarán explicadas por menor en el Tratado de su inventor, quien tambien indica varios métodos de construirlos por sus principios.

Las

(1) Es muy probable que en Inglaterra se hayan hecho pruebas sobre estos instrumentos, pero nosotros las ignoramos.

Las mismas ventajas se lograrían dexando fixos los espejos horizontales, y dando al central el movimiento que hemos indicado (373): y este método se halla ya adoptado en los Quadrantes de Gregory y Wright. Estos artistas tambien han trabajado mucho por su parte, para perfeccionar los instrumentos de reflexîon, y su Quintante reune muchas buenas calidades para la práctica de las observaciones. Entre estas, no es despreciable la comodidad de poder medir en el sentido que se quiera la distancia angular entre dos objetos, con solo poner el espejo de la alidada paralelo al horizontal en el principio ó fin de las divisiones, y mover el índice en direcciones encontradas (para hallar el ángulo indicado inmediatamente por la alidada en ambos casos, Mr. Wright señala dos divisiones, de las quales la última de la una es el o de la otra); pues, quando el objeto directo se halla á la derecha y superior al otro, el uso del Sextante comun es algo embarazoso y cansado para los observadores poco diestros. Mr. Wright se ha propuesto tambien otras ventajas, tanto en la disposicion de los Octantes y Sextantes, como en los instrumentos de mayor arco; pero sobre este asunto nos remitimos al quaderno de explicacion con que acompaña sus Quintantes.

DE

DE LAS CORRECCIONES de las alturas tomadas con los Quadrantes de reflexîon.

375 Despejado el ángulo îndícado de los errores particulares del înstrumento, resulta la distancia aparente del punto observado al horizonte sensible; y por consiguîente, para tener la altura verdadera de su centro, es necesario aplicarle las siguientes correcciones: 1. depresion del horizonte, 2. semidiámetro, 3. refraccion, 4. paralelaxe.

376 La elevacion del ojo sobre la superficie *Fig.* 21. del mar, por exemplo en D, inclina el horizonte visible, que entonces parece segun la tangente DO; y es claro, que las alturas de los astros sobre este horizonte excederán las que se hubieran observado sobre el racional DH en el ángulo HDO, îgual al del centro de la Tierra DCO. Para tener, pues, la cantidad de la depresion, no hay mas que resolver el triángulo rectángulo DCO, donde se conocen CO igual al radio de la Tierra, y DC igual al mismo radio mas la elevacion del ojo: lo que podrá hacerse por esta analogía DC : R = CO : coseno DCO.

377 Este resultado no es, sin embargo, la ver-

verdadera depresion, porque la refraccion terrestre que padecen los rayos de luz en el pasage desde O hasta el ojo en D hace variar la cantidad de la inclinacion del horizonte visible. Mr. Bouguer, en quanto hemos hallado, es el primero que atendió á esta causa en la tabla de inclinaciones de la Memoria con que ganó el prémio de 1729, y despues otros autores han seguido su exemplo.

378 Pero aún asi, las correcciones de la depresion no son bastante exâctas, y lo mejor en todo caso es observar la que conviene al instante necesario. La refraccion varía por muchas causas, y las variaciones son muy considerables; de donde resulta, que la media adoptada en la construccion de la tabla convendrá rara vez con las circunstancias actuales. Para evitar estos errores, podrá emplearse con fruto el método indicado (336), ó medir en el mismo instante las distancias de un astro á los dos puntos opuestos del horizonte, cuya suma ménos 180° dará el duplo de la depresion verdadera.

379 Quando alguna causa, como la niebla ó la presencia de la tierra, aproxîma los términos aparentes del horizonte, tambien es claro, que el resultado de la analogía ó correccion de la tabla debe desecharse por insuficiente. Para tener en estos casos

sos la verdadera cantidad de la depresion, sería necesario saber qual es la distancia DA al último punto visible de la superficie terrestre; pues entonces, conocidos los tres lados del triángulo DAC, se deduciría facilmente el valor del ángulo CDA, complemento de la inclinacion del horizonte. El Sr. Magallanes ha imaginado á este efecto un instrumento compuesto de dos espejos que, por el ángulo (fig. 24) paralático EH*e*, manifiesta la distancia del objeto en coincidencia. Véase la nota *ll* de su Tratado sobre este instrumento, que es de una execucion muy facil, y que al parecer sería útil para la práctica.

Fig. 21.

380 Á falta de un medio semejante, pueden dos observadores en diferentes alturas, por exemplo, uno en la cofa y otro en la cubierta junto al palo, tomar al mismo tiempo la altura del Sol ú otro astro; pues, sabiendo la elevacion del ojo de cada observador sobre la superficie del mar, será facil deducir la distancia al límite de su parte visible, por las siguientes proporciones.

La diferencia de las elevaciones de los dos observadores, á la suma de las mismas: como el seno de la diferencia de las dos alturas observadas, al seno de un cierto ángulo.

Y, tomada la semisuma entre este ángulo y la

la diferencia de las alturas observadas:

El radio, á la cotangente de la semisuma: como la elevacion del observador superior, á la distancia que se busca.

Estas reglas se hallarán evidentes á primera vista, y en nuestra Coleccion darémos una tabla, que contenga las depresiones correspondientes á sus resultados.

De todos modos la correccion de la depresion es general, y siempre substractiva en las alturas de los astros.

381 Al aplicar la correccion del semidiámetro, es necesario atender al afecto de la *irradiacion* (1), que aumenta mas ó ménos, pero nunca disminuye el verdadero de los astros muy brillantes. Mr. de Goimpy, en las notas de su *Abregé du Pilotage*, es el primero que juzgó esta una correccion necesaria é importante en el uso del Octante para las observaciones del Sol: notando, que su cantidad depende y es variable, segun la brillantez y altura del Sol, el estado de la salud y de los espejos, y el cansancio del ojo. Mr. Fleurieux, añadiendo á aquellas causas los vapores esparcidos en el aire, adoptó

(1) Irradiacion es la extension aparente que resulta en los objetos luminosos, por la demasiada brillantez de la luz.

tó tambien las mismas consideraciones, y achacó á aquel origen el error de $4\frac{1}{2}$ minutos advertidos en su instrumento; pero ciertamente, la analogía entre este error constante y la irradiacion, que debe variar por tantas causas, no parece muy estrecha. Asi, el mismo Mr. Fleurieux (véase el suplemento al Apendice de su viage tomo 2 pag. 615) queda despues indeciso; porque, habiendo consultado, dice, á algunos sábios, encontró que, segun la opinion de éstos, el efecto de la irradiacion no podia nunca exceder de algunos segundos, y por consiguiente nunca llegar á 4 ó 5 minutos. Nosotros, recurriendo á la experiencia, hemos observado repetidas veces el diámetro del Sol con un excelente Sextante de Ramsden, y hallado el efecto de la irradiacion insensible en el vernier de medios minutos, lo mismo con la simple vista que con anteojo. Pero, sin embargo de que estos resultados nos inclinarían á dar por despreciable aquel error en todo tiempo, conocemos que tales asuntos no pueden resolverse definitivamente, sino combinando muchos materiales, y, lejos de creernos bastante autorizados para pronunciar en éste, juzgamos mejor, que cada uno se atenga á lo que sin prevencion observe por sí mismo.

382 Para averiguar la irradiacion, no hay mas

mas que observar el diámetro del Sol por dos alturas del limbo inferior y superior, quando en las proxîmidades del meridiano no se mueve sensiblemente, ó en qualquier otro caso, comparándolo con su imagen (330); pues la diferencia entre el semidiámetro medido y el que indican las tablas para el mismo instante, dará el ancho de la corona luminosa que aumenta el disco aparente.

Esta correccion deberá aplicarse á todas las distancias angulares tomadas al limbo solar, en el sentido que su misma causa indica.

383 La refraccion en todos los astros, y la paralaxe en los próxîmos son correcciones necesarias á los lugares aparentes observados por qualquier instrumento, y su naturaleza manifiesta el sentido en que deben aplicarse (P. A. 287, 272).

DE LA DETERMINACION de la variacion de la aguja.

384 La observacion de la variacion se reduce, á hallar por el cálculo la posicion del vertical de un astro en el horizonte, al mismo tiempo de observarla con la Aguja: y esta posicion puede observarse, quando el astro sale ó se pone, ó quando ya tiene alguna altura.

385 En el primer caso la amplitud se calcúla por la actual latitud de la embarcacion, y la declinacion del astro conocida por las tablas (P. A. 183).

386 Pero la amplitud calculada de aquel modo es la del centro del astro al estar realmente en el horizonte; y como la posicion aparente de los astros difiere de la verdadera, por los efectos de la refraccion en todos y por los de la paralaxe en los que la tienen, siempre será necesario hacer las correspondientes deducciones, atendiendo al mismo tiempo á la depresion del horizonte visible segun la elevacion del ojo, para observar el astro quando se halle verdaderamente en el horizonte, ó introducir las variaciones correspondientes en los datos del cálculo ó en su resultado. La correccion que debe aplicarse á este (Princip. Astronom. 479) es igual á $\frac{dx \times sen.\ latitud}{\sqrt{(cos^2.decl. - sen^2.latitud)}}$, que se reduce á $\frac{dx \times sen.\ latitud}{cos.\ decl.\sqrt{\left(1 - \frac{sen^2.latitud}{cos^2.\ declin.}\right)}}$, ó haciendo para facilitar el cálculo $\frac{sen.\ latitud}{cos.\ declin.}$ = seno A, á $\frac{dx \times sen.\ latitud}{cos.\ decl. \times cos.A}$: en cuya formula dx representa la

la suma de todos los efectos que varían la altura del astro, tomado cada uno con su correspondiente signo.

387 Sin necesidad de esta fórmula, podrá calcularse desde luego la posicion del vertical de un astro quando aparece en el horizonte, empleando su distancia al zenit ó altura verdadera entonces. Asi, en el Sol, observándolo quando, como es costumbre y preferible, su margen inferior toca el horizonte, deberá añadirse la paralaxe al semidiámetro del Sol [1], substraer de la suma la depresion, y, buscando la refraccion correspondiente á la resta, tomar la diferencia de esta resta á la refraccion; cuya diferencia, aumentada de 90°, dará la verdadera distancia del Sol al zenit. Con este dato, la declinacion del Sol en el mismo instante, y la latitud de la embarcacion, se hallará facilmente (P. A. 175) el azimut ó distancia del vertical al meridiano; y, comparada á la marcacion, la variacion de la Aguja.

388 Si la observacion se ha hecho en el instante en que el margen inferior del Sol sale ó se pone, deberán añadirse á 90°, la refraccion horizontal

(1) En el cálculo de la amplitud podrán despreciarse los segundos: y empleando el Sol hacer su semidiámetro constantemente de 16 minutos, y despreciar la paralaxe.

tal, el semidiámetro del Sol, y la depresion del horizonte; y, restando la paralaxe de la suma, la resta será la verdadera distancia del Sol al zenit, que deberá emplearse como la del parrafo antecedente.

389 Si la marcacion se hizo en el instante de la aparicion ó desaparicion del centro, á 90° deberá añadirse la refraccion horizontal, y la depresion; y, disminuyendo la suma de la paralaxe, quedará por resta la distancia del Sol al zenit.

390 Pero á qualquiera se ocurre, que esta última observacion no debe practicarse, porque no es facil discernir á ojo el preciso momento en que el centro del Sol se halla en el horizonte. Por la misma razon, la costumbre de marcar el Sol, cortando su disco por la mitad con el hilo de la pínula objetiva, es poco exâcta, y será siempre mejor, observar uno de sus márgenes, para añadir el semidiámetro aparente al azimut ó amplitud observada.

391 En lugar de hacer estos cálculos, ó modificar la amplitud verdadera hallada (386), nos parece, con Mr. Bouguer, mas conveniente, procurar observar los astros quando están exâctamente en el horizonte racional; y esto fundados, en que las irregularidades que padece la refraccion horizontal llegan, segun las observaciones de Mr. Cassini, á 17′ ó 18′, mientras que á medio grado nunca exce-

ceden de 9′ á 10′. La observacion podrá, pues, acomodarse al instante para que se calculó la amplitud, executándola quando el astro se vea distante del horizonte de una cantidad que, añadida á la paralaxe y restando de la suma la depresion, quede por resta la refraccion correspondiente.

392 Pero como en la práctica suele dispensarse la rigorosa observancia de las reglas, sin que las operaciones sean ménos exâctas, por lo comun bastará marcar el Sol quando su margen inferior parezca elevado sobre el horizonte de cerca de la mitad de su diámetro aparente. Estando en latitudes grandes crece, no obstante, el influxo del error que puede cometerse en esta avaluacion á ojo, y entonces deberá usarse el mayor rigor en las observaciones.

393 Quando el astro tiene alguna altura aparente, al mismo instante que se observa su azimut magnético, es necesario medir su altura: que, corregida (375), dá con la declinacion y altura del polo su verdadero azimut (P. A. 175).

394 Pero en estas, como en todas las operaciones semejantes, es indispensable considerar las circunstancias mas favorables, para disminuir el influxo de los errores que pueden haberse deslizado en los elementos.

En

En la observacion de la variacion en la mar, hay que temer los cometidos en los datos con que se calcúle el azimut verdadero, y los de la misma marcacion del azimut magnético. Atendiendo á unos y otros resultan, pues, las siguientes reglas, cuya demostracion es clara empleando las analogías diferenciales, y que podrán dirigir la eleccion de circunstancias para observar la variacion.

1.° Los astros que se hallan á la parte del polo elevado, respecto al primer vertical, son preferibles á los que están á la otra parte: y en caso de emplear los astros que se hallan ácia el polo baxo, los mas cercanos al primer vertical son preferibles.

2.° En todo almicantarát mas elevado que el polo hay un cierto punto, en que el error que puede cometerse en la altura del astro no influye en el cálculo del azimut: y este punto ès aquel en que el vertical del astro se confunde con el paralelo que describe.

3.° De todos los astros que están á una misma altura y ménos elevados que el polo, los que están en el círculo horario de seis horas, ó círculo horario que forma con el meridiano un ángulo de 90°, son los mas propios para la observacion del azimut; porque el error que se haya deslizado en

la

la altura influirá en el cálculo del azimut ménos que si se empleasen los astros situados en qualquier otro punto del mismo almicantarát.

4.° Los astros que están en el círculo horario de seis horas son aún preferibles, porque el error que se padezca en la latitud de la nave, ó altura del polo, no influye en el cálculo de que tratamos.

5.° Entre todos los astros que están en el círculo horario de seis horas, los mas próxîmos al equador son los mas propios para determinar la variacion en la mar.

Esta preferencia se funda en los errores que puede producir la inclinacion del plano en que se señale el azimut magnético (89); y asi, en tierra, donde hay medios de observar con tanta exâctitud el azimut de los astros muy elevados como el de los próxîmos al horizonte, los mas cercanos al polo serán al contrario los mas propios á este objeto.

6.° La observacion mas conveniente, de los astros cuya declinacion es de nombre contrario á la latitud de la nave, es al tiempo que salen ó se ponen.

7.° Quando la declinacion del astro es del mismo nombre que la latitud, la observacion en el círculo horario de seis horas es preferible á la del horizonte, particularmente quando la altura

del polo es muy considerable.

8.° En las grandes latitudes, la marcacion de los astros en el horizonte puede ser muy erronea; porque, sin elevarse sensiblemente, mudan de amplitud con rapidéz. La refraccion muy variable é irregular en el horizonte contribuye tambien á hacer dudoso el instante del contacto con el horizonte; y asi, en estos casos, convendrá observarlos quando ya estén á cierta altura.

395 La variacion puede observarse con suma sencillez, por dos alturas iguales del mismo astro. Habiendo observado, por exemplo, la amplitud del Sol quando se halló á la misma altura por la mañana y por la tarde, es evidente, que la mitad de su suma, si se cuentan ambas desde el oriente ú occidente, ó de su diferencia, si se cuentan una desde oriente y otra desde occidente, será la variacion buscada.

Pero como en el interválo que media entre las alturas es regular que la del polo, la declinacion del astro, y aún algunas veces la misma variacion, muden sensiblemente, este método, que parece tan simple á primera vista, porque no supone conocimiento de principios, cesa de ser directo y se complica con las indispensables consideraciones de las diferencias ocurridas entre las dos observaciones. En es-

esta atencion nos parece, pues, que solo debe emplearse á falta de los otros métodos, ó quando, siendo la derrota en direccion próxîma al paralelo y estando el Sol en los solsticios, sea éste bastante exâcto.

396 La variacion tambien puede observarse facilmente, aunque no con mucha exâctitud, al tiempo del pasage de los astros por el meridiano, y por otros varios métodos que podrán ser útiles en ciertos casos; pero nosotros no nos detendrémos en desmenuzarlos, porque al Piloto inteligente se le ocurrirán en la ocasion, y los demás tienen bastante con lo dicho. De todos modos, los principios establecidos en el primer Libro servirán para calcular los resultados, ó averiguar de antemano las señales (1) del momento que convenga para la observacion: y las reglas precedentes determinarán la eleccion que, segun las circunstancias, prometa mayores ventajas.

AL-

(1) La hora y la altura de los astros son dos señales, por donde facilmente puede distinguirse el momento que se necesita. Por exemplo: queriendo observar el azimut del Sol quando se halle en el primer vertical, no habrá mas que calcular á qué hora (P. A. 174) ó en qué altura (P. A. 181) debe llegar á él con lo que, y con un relox ó Quadrante, se conocerá el momento que conviene.

ALGUNOS PROBLEMAS PARA HALLAR la latitud.

397 El método de observar la latitud por la altura meridiana (Véanse las reglas de este método P. A. 419) es el mas directo de quantos pueden emplearse, y por la misma razon el mas exâcto; pues en los demás, los errores de los diversos datos, crecen con los rodéos del cálculo, é influyen en el resultado. La simple consideracion de los mismos métodos basta para hacer patente esta verdad; pero, aunque no fuese tan clara, podríamos asegurarla, por las experiencias que hemos hecho en el asunto, y que nos han probado lo que Mr. Bouguer opina por las suyas. Por estas razones, nos parece, que, generalmente, los Pilotos solo deben emplear el método de la altura meridiana, supliendo la falta de otros con la atencion en multiplicar las ocasiones de emplearlo con la Luna, planetas y estrellas. En cuya exclusion no comprehendemos, sin embargo, el método de Douwes, cuyo artificio se dirige á corregir ó disminuir el error de la latitud de estima con la combinacion de varios elementos.

Tampoco podríamos opinar, que, por no ser en lo comun bastante exâctos, deberían abandonarse

se totalmente las investigaciones para determinar la la latitud por diferentes métodos. Al contrario, pensamos, que los sujetos ilustrados sabrán sacar utilidad de estos problemas en algunas ocasiones. Pero el ceñir la confianza á sus justos límites, requiere en tales casos mas principios y tino del que debe suponerse en los facultativos ordinarios. Por esta consideracion, solo presentarémos, en beneficio de los primeros, algunos exemplos que puedan servir para adquirir idéas propias á facilitar la invencion de las proposiciones de esta especie: y á este fin principiarémos por la teórica del método de Douwes.

398 *Dadas dos alturas de Sol, el interválo que divide los instantes en que se observáron, y la latitud de estima, hallar la latitud.*

Sea HESPO el meridiano, HO el horizonte, Z el zenit, P el polo, EQ el equador, SX el radio del paralelo SKML que el Sol describe, y D, G las proyecciones ortográficas en el plano del meridiano de los puntos K, y L en que se halló el Sol quando se tomáron las alturas. Tírense SA, DB, GN perpendiculares á HO, y CD, FG perpendiculares á SA, DB. Y hágase la declinacion $=d$, la latitud de estima $=l$, el interválo $=t$, la mayor altura $=A$, la menor altura $=a$. *Fig.* 41.

En el triángulo FDG tendrémos, DG : DF $=1$:

sen

sen DGF, y, por ser DGF=EQH, $DG=\frac{DF}{\cos l}$, ó en partes del radio SX, $DG=\frac{\text{sen}\,A-\text{sen}\,a}{\cos l.\cos d}$. En el triángulo KLR, rectángulo en R, tambien es $KL=\frac{KR}{\text{sen}\,KLR}$, y siendo $KLR=SK+\frac{KL}{2}$, esto es, igual al ángulo horario medio entre K, y L (que representarémos por M), $KL=\frac{KR}{\text{sen}\,M}$. Pero se vé, que KL es la cuerda del arco del paralelo que mide el interválo entre las alturas, luego $2\,\text{sen}\,\frac{1}{2}t$ $=\frac{DG}{\text{sen}\,M}=\frac{\text{sen}\,A-\text{sen}\,a}{\text{sen}\,M.\cos l.\cos d}$, y por consiguiente seno $M=\frac{\text{sen}\,A-\text{sen}\,a}{2\,\text{sen}\,\frac{1}{2}t.\cos l.\cos d}$. O, para tener una expresion mas adequada para el cálculo por logarithmos, $\text{sen}\,M=\frac{\cos\left(\frac{A+a}{2}\right)\times\text{sen}\left(\frac{A-a}{2}\right)}{\text{sen}\,\frac{1}{2}t.\cos l.\cos d}$.

Hallado de este modo el ángulo horario medio, se deducirá facilmente el ángulo horario menor SK, y por consequëncia SD, que es su seno verso en partes del radio de círculo máxîmo, ó multi-

tiplicado por el coseno de la declinacin. Asi, siendo SC = SD × *sen* SDC = SD × *cos l*, tendrémos SC = *sen. ver. áng. hor. menor* × *cos d* × *cos l*; cuya cantidad, añadida al seno DB de la mayor altura, dará el seno SA de la altura meridiana.

Aquella expresion puede reducirse á SC = $2\,sen^2\,\frac{1}{2}$ *áng. horar. menor* × *cos d* × *cos l*, para facilitar el cálculo por las Tablas de los logarithmos, que ordinariamente no contienen los de los senos versos.

399 La solucion de este utilisimo problema por los principios establecidos fue inventada ácia el año de 1740 por Mr. Douwes, Exâminador de Pilotos en Amsterdam: quien, habiendo dispuesto diferentes Tablas para facilitar su práctica y remitídolas al Almirantazgo inglés, obtuvo de la generosidad de los Comisarios de la longitud un prémio de cincuenta libras esterlinas. Mr. Harrison en 1759 hizo públicas en Inglaterra estas tablas, cuyos exemplares manuscritos corrian con gran aprecio entre los oficiales de su nacion, pero omitiendo la demonstracion de las reglas de su uso. Desde entonces varias personas han descifrado esta especie de enigma: y el Doctor Pemberton en una Memoria interesante inserta en las Transacciones filosóficas, 1760 num. 81, ha hecho varias reflexîones sobre este problema, y manifestado la ninguna necesidad de recur-

currir á nuevas tablas para resolverlo. Ultimamente, puesta por la experiencia fuera de duda la utilidad del método de Douwes, en el dia se halla ya adoptado, y las tablas que lo facilitan se encuentran en varias colecciones.

Reservando para la que nos proponemos publicar las reglas prácticas particulares de su uso, modificaciones que le convienen, y sus circunstancias ventajosas, solo harémos ahora algunas reflexîones generales, que podrán servir de exemplo, para manifestar el modo de exâminar el mérito de esta clase de qüestiones.

400 El método de Douwes consta de dos partes: la primera, por medio de la latitud de estima determina el ángulo horario, ó distancia al medio dia del instante medio entre las observaciones, y por consiguiente el de cada una: la segunda, por una de estas observaciones determina qual sería la altura meridiana del Sol, dado que la de estima fuese la latitud exâcta. Asi, en el caso de que, contra este supuesto, la latitud empleada en el cálculo sea erronea, la altura hallada no convendrá con la primera; y por este artificio, si los instantes de las observaciones están bien elegidos, la latitud calculada se aproxîmará á la verdadera, corrigiéndose asi la latitud de estima, segun permitan las circunstancias.

Pa-

401 Para determinar las que convienen, diferenciémos la expresion $SC = sen.\ ver.\ áng.\ hor.\ menor \times cos\ d \times cos\ l$, haciendo variable el ángulo horario y la latitud; y tendrémos, representando por H el ángulo horario mayor y por h el menor, $dSC = d\ \text{sen}\ HS = dHS.\ \cos HS = dHS.\ sen\ (l \pm d) = dh\ sen\ h.\ cos\ d.\ cos\ l - dl.\ sen\ l.\ cos\ d\ (1 - cos\ h)$; y atendiendo á que $dh = dM = \frac{d\ sen\ M}{cos\ M}$, $dHS.\ sen\ (l \pm d)$

$$= \frac{2\ dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ sen \tfrac{1}{2} t (sen\ A - sen\ a) \times sen\ h.\ cos\ d.\ cos\ l}{4\ cos^2 l.\ cos^2 d.\ sen^2 \tfrac{1}{2} t.\ cos\ M}$$

$- dl\ sen\ l.\ cos\ d + dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ cos\ h$, y substituyendo sen M por su valor quedará $dHS.\ sen\ (l \pm d)$ $= \frac{dl\ sen\ l.\ sen\ h.\ cos\ d.\ sen\ M}{cos\ M} - dl\ sen\ l.\ cos\ d + dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ cos\ h$, y por cosiguiente, $dHS\ sen (l \pm d) \times cos\ M = dl\ sen\ l.\ sen\ h.\ cos\ d.\ sen\ M - dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ cos\ M + dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ cos\ h.\ cos\ M = dl\ sen\ l.\ cos\ d.\ (sen\ h\ sen\ M + cos\ M\ (cos\ h - 1))$.

Considerando ahora que $h = 2\tfrac{1}{2}h$, y $M = \frac{H+h}{2}$, tendrémos, substituyendo las expresiones y haciendo las reducciones correspondientes, $dHS\ sen (l \pm d) \times cos\ M = dl\ sen\ l.\ cos\ d \times 2\ \text{sen} \tfrac{1}{2} H\ sen \tfrac{1}{2} h$; y considerando que dHS representa el error resultante en la latitud calculada, y llamándolo dl', $dl : dl' = sen(l \pm d)$

$\times \cos M : 2 \operatorname{sen} l. \cos d. \operatorname{sen} \frac{1}{2} H \operatorname{sen} \frac{1}{2} h.$

402 Esta analogía se reduce á la que el Doctor Pemberton dá sin demostracion en su Memoria citada; y por ella se vé, que á proporcion que $\operatorname{sen}(l \pm d) \times \cos M$ es mayor que $2 \operatorname{sen} l. \cos d. \operatorname{sen} \frac{1}{2} H$ $\operatorname{sen} \frac{1}{2} h$, la latitud calculada se aproxîma á la verdadera, hasta que, siendo aquellas dos cantidades iguales, cesa de disminuirse el yerro cometido en el aprecio de la latitud de estima: pasado cuyo término, la latitud hallada por el cálculo se aleja mas y mas de la verdadera. Por estos principios podrán, pues, determinarse las circunstancias que convengan á las observaciones, y despues de executadas se sabrá la preferencia que sobre la estima merezca el resultado.

403 La fórmula antecedente tambien manifiesta, que los errores de las latitudes calculada y de estima caen á lados opuestos de la verdadera, quando, situado el zenit entre el polo elevado y el Sol al medio dia, ambas observaciones corresponden á la misma parte del meridiano: ó quando el Sol al medio dia pasa entre el zenit y el polo elevado, si una observacion se hizo por la mañana y otra por la tarde. En los demás casos los errores caen al mismo lado de la latitud verdadera.

404 Este, como todos los demás métodos que su-

suponen la embarcacion estacionaria, tienen el mismo uso, quando se navega; porque es facil reducir al primero ó segundo lugar la altura que se tomó en el otro. Para esto, no hay mas que marcar el astro al tiempo de observarlo, y despues, por el rumbo y camino hecho, averiguar las millas andadas en aquella direccion; y estas darán los minutos que deben aumentarse ó disminuirse á la altura observada.

405 *Dadas las alturas de dos astros conocidos, y el tiempo pasado entre las observaciones, hallar la latitud.*

Sea P*p* el exe de la esfera celeste, PZAH *pzah*P el meridiano, HX*h* el horizonte del lugar, *a*XA el equador, DE*d* el paralelo que describe el astro E,PE*p* el círculo de declinacion del astro, ZE*z* su vertical, y LE*l* su almicantarát. *Fig. 42.*

Hagamos el radio $CP=r$, el seno de la declinacion de un astro $CB=x$, su coseno $BD=y$, el seno de la altura del mismo astro $CG=h$, su coseno $GE=k$, el seno del ángulo horario DPE, $mn=t$, su coseno $Cn=u$, el seno de la altura del polo $PQ=s$, su coseno $QC=c$.

406 Por la semejanza de los triángulos PQC, y CBO, tenemos $s:x=r:CO$, y $CO=\frac{rx}{s}$; de

 don-

donde se sigue $GO = GC - CO = \frac{hs - rx}{s}$. Por la semejanza de los otros triángulos PQC, FGO, tambien es $c : r = \frac{hs - rx}{s} : OF = \frac{rhs - r^2 x}{cs}$; y como los primeros triángulos dán $s : c = x : BO = \frac{cx}{s}$, será $BO + OF = BF = \frac{cx^2 + rhs - r^2 x}{cs}$. Pero, por los arcos correspondientes DEd, AXa, tambien es $r : u = y : BF = \frac{uy}{r}$; luego, siendo $c^2 - r^2 = - s^2$, tendrémos $r^2 h - rsx = cyu$: fórmula que expresa la relacion entre la altura del polo, la declinacion de un astro, su altura, y su ángulo horario. Esta es la primera de la preciosa Astronomía náutica de Mr. de Maupertuis.

407 Aquella fórmula es general y abraza todos los casos posibles, pero para emplearla, es claro que deberán mudarse algunos signos, quando el astro no caiga ácia el polo elevado, esté debaxo del horizonte, ó se halle inferior al círculo horario

de

de seis horas. Las variaciones que convengan se deducirán facilmente, atendiendo á las posiciones del astro; y en la inteligencia de que se tengan presentes las reglas algebráicas para estos casos, proseguirémos á la solucion de nuestro problema.

408 Para esto, como las observaciones no son contemporáneas, supongamos, en lugar del primero, un astro imaginario cuya declinacion sea igual á la del verdadero, pero con una diferencia de ascension recta igual al intervalo de tiempo entre las observaciones convertido en grados. Tomando la suma ó diferencia del intervalo, y de la diferencia ascensional de los astros verdaderos (la suma si el primer astro observado es el siguiente, y la diferencia si es el precedente), podrán tratarse las observaciones como hechas en el mismo instante, y con dos astros cuyos horarios forman un ángulo igual al resultado.

Representémos pues, por p, y q el seno y coseno de dicho ángulo, por x' é y' el seno y coseno de la declinacion del otro astro, por h' el seno de su altura, y por u' el coseno de su ángulo horario.

Por el cálculo de los senos tendrémos $ru'=qu-pt$, ó $ru'-qu=-p\sqrt{(r^2-u^2)}$; cuya expresion, substituyendo los valores $u=\frac{rrh-rsx}{cy}$, y $u'=\frac{rrh'-rsx'}{cy'}$, sacados de la fórmula, nos dará,

qua-

quadrando para desvanecer el incomensurable, y ordenando respecto á s,

$$ss\left\{\begin{array}{l}+rryyx'x'\\+qqxxy'y'\\+ppxxy'y'\\-2rqxx'yy'\end{array}\right\}+s\left\{\begin{array}{l}+2rrqh'xyy'\\+2rrqhx'yy'\\-2rrrh'x'yy\\-2rqqhxy'y'\\-2rpphxy'y'\end{array}\right\}=\left\{\begin{array}{l}+ppccyyy'y'\\+2rrrqhh'yy'\\-rrrrhh'yy\\-rrrrhhy'y'\end{array}\right.$$

Substituyendo ahora $r^2-s^2=c^2, r^2=x^2+y^2, r^2=p^2+q^2$, resultará

$$ss\left\{\begin{array}{l}(rx'y-qxy')^2\\+rrppy'y'\end{array}\right\}+s\left\{\begin{array}{l}+2rrqh'xyy'\\+2rrqhx'yy'\\-2rrrh'x'yy\\-2rrrhxy'y'\end{array}\right\}=\left\{\begin{array}{l}+rrppyyy'y'\\+2rrrqhh'yy'\\-rrrrh'h'yy\\-rrrrhhy'y'\end{array}\right.$$

Haciendo ahora, $A=(rx'y-qxy')^2+rrppy'y'$, $-B=qb'xyy'+qbx'yy'-rb'x'yy-rbxy'y'$, $C=ppyyy'y'+2rqbb'yy'-rrb'b'yy-rrbby'y'$, se tendrá

$$Ass-2Brrs=Crr$$

y resolviendo esta equacion quedará la expresion del seno de la latitud,

$$s=\frac{Brr}{A}\pm\frac{r}{A}\sqrt{(BBrr+AC)}.$$

409 Las dos raices de la equacion podrían causar algun embarazo, quando ambas fuesen positivas

y

y desiguales, pero en este caso, la latitud conocida á corta diferencia determinará sin dificultad la que convenga.

410 El problema actual tiene bastante extension, y contiene como casos particulares algunos que Mr. de Maupertuis ha tratado separadamente en la Astronomía naútica. Entre estos casos consideremos primero, el en que se dán dos alturas del mismo astro, que es el problema XII de la última edicion de aquella obra.

La fórmula general $s = \frac{Brr}{A} \pm \frac{r}{A}\sqrt{(BBrr + AC)}$, en la suposicion de ser la declinacion constante, será entonces mas simple, y sus términos, suprimiendo el factor comum yy, quedarán reducidos á los valores siguientes:

$A = x^2(r-q)^2 + rrpp$, $B = h'x(r-q) + hx(r-q)$,
$C = ppyy + 2rqhh' - rrh'h' - rrhh$.

Expresando ahora por c el seno verso del ángulo coseno q, podrá substituirse en lugar de $r-q$, y haciendo las correspondientes reducciones, resultará la fórmula identica á la de la Astronomía náutica:

$$ss\left\{\begin{matrix}+ooxx\\+rrpp\end{matrix}\right\} + s\left\{\begin{matrix}-2rrhox\\-2rrh'ox\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}+rrrrpp\\+2rrrqhh'\\-rrrrhh\\-rrrrh'h'\\-rrppxx\end{matrix}\right.$$

Sien-

411 Siendo nuestro principal objeto ahora, el dár alguna idéa de las aplicaciones del cálculo en la resolucion de los problemas astronómicos, no parecerá inútil que nos detengamos en diferentes consideraciones que pueden ser útiles en estos casos.

412 En la deduccion de la fórmula antecedente hemos hecho abstraccion de la variacion en declinacion que puede ocurrir de una altura á otra: y á la verdad, en las observaciones de los planetas é intervålos regulares, el influxo de esta diferencia será ordinariamente bastante corto para despreciarlo. Pero si, para proceder con toda exâctitud, quisiere atenderse á ella, se ofrecen quatro diferentes medios, de los quales, podrá adoptarse el que mas convenga.

413 El primero consiste en recurrir á la fórmula general (408), y este sin duda es el mas exâcto.

414 El segundo consiste en substituir en la fórmula (408), en lugar de h' el seno de la altura á que se habría observado el astro si la declinacion hubiese continuado la misma. Para esto podrémos emplear la equacion $u' = \frac{rrh' - rsx}{cy}$, y diferenciándola en la suposicion de x é y variables, tendrémos $du' = o = \frac{rrydh' - rsydx - rrh'dy + rsxdy}{cyy}$; de

don-

donde resulta $dh' = \frac{sydx + rh'dy - sxdy}{ry}$, y substituyendo $-\frac{xdx}{y} = dy$, $dh' = \frac{rs - h'x}{yy} \times dx$: cantidad que debe aplicarse á h' para tener el seno de la altura deseada.

415 El tercer medio consiste en calcular directamente el error que la variacion en declinacion despreciada ocasiona en el seno de la altura del polo, ó en la altura misma. Para esto, tomando otra vez la fórmula $u' = \frac{rrh' - rsx}{cy}$, diferenciémosla haciendo variables la declinacion y la latitud, y tendrémos

$$\frac{-rscydx - rxcyds - rrh'cdy + rsxcdy - rrh'ydc + rsxydc}{ccyy}$$

$= du' = o$. Substituyendo ahora $-\frac{sds}{c} = dc$, $-\frac{ydy}{x} = dx$, y haciendo las reducciones correspondientes, será $(rscc - h'ccx)dy = (rxxy - h'sxy)ds$, de donde resulta $ds = \frac{(rs - h'x)cc}{(rx - h's)xy} \times dy$: expresion del error cometido en el seno de la latitud procedente de la abstraccion de la variacion en declinacion.

416 Por la misma fórmula se hallará facilmente el error de la latitud; pues, representando

por D la declinacion, y por L la latitud, tendrémos $dy = -\frac{x\,d\,D}{r}$, y $ds = \frac{c\,d\,L}{r}$; cuyos valores substituidos darán $dL = \frac{(rs - h'x)c}{(rx - h's)y} \times dD$.

417 El quarto medio consiste en substituir al tiempo pasado entre las observaciones, el que habría mediado si la declinacion del astro no hubiese variado. La diferencia de este intervalo supuesto y el observado puede aún determinarse por la fórmula $cyu' = rrh' - rsx$, que, diferenciada con respecto á u', x, y, dará $cydu' + cu'dy = -r'sdx$, y por consiguiente $du' = -\frac{rsdx + cu'dy}{cy}$. Expresando ahora por A el ángulo horario, tendrémos $du' = -\frac{t'dA}{r}$, $dx = \frac{ydD}{r}$, y $dy = -\frac{xdD}{r}$; lo que substituido en la equacion dará $-dA = \frac{cu'x - rsy}{cyt'} \times dD$. Este arco, convertido en tiempo, será el que deba añadirse ó restarse del observado, para emplearlo en la fórmula.

418 En vista de estos diversos métodos podría preguntarse, quál es el mas ventajoso ó preferible? Á esto responderémos, que los fundamentos del cálculo diferencial principalmente, y despues la

co-

comodidad de las operaciones, determinarán la eleccion del que mas convenga á las circunstancias actuales. En el segundo medio (414) se vé, por exemplo, que suponiendo el astro en el equador, la igualacion de du á o es absurda; porque entonces, reduciéndose la fórmula $rrh' - rsx' = cyu'$ á $rh' = cu'$, se tendrá $rdh' = cdu'$. Lo que manifiesta, que siempre que dh' sea real, ó que la altura varíe por alguna causa en este caso, du' tambien será una cantidad real, y no podrá suponerse el ángulo horario constante. Quando la declinacion sea corta du' bien podrá ser igual á cero, pero entonces la cantidad ds correspondiente á dh' sería demasiado grande respecto á h' como lo manifiesta la expresion del párrafo 421. Es, pues, necesario, atender con especialidad, á que las que se tomen por diferenciales sean de un orden bastante inferior á los elementos, para que, sin graves errores, puedan considerarse como infinitamente pequeñas ó fluxîones.

419 Tambien es de notar sobre las expresiones dadas, que, conteniendo el seno ú coseno de la altura del polo, suponen conocida la misma cantidad que ha de buscarse. Este es un inconveniente que, aún quando la ignorancia de la altura del polo fuese absoluta, se venceria por las reglas de las falsas posiciones. Pero como aquel elemento siem-

pre se conoce á corta diferencia, lo ordinario será que, empleándolo de este modo, el primer resultado de las fórmulas de el valor de dh' con la exâctitud precisa.

420 Parece inútil notar, que, aún quando no quieran hacerse aquellas correcciones, las fórmulas antecedentes siempre son útiles para manifestar el influxo de una corta variacion de la declinacion en el cálculo de la altura del polo, y las circunstancias mas ventajosas para hacerlo despreciable.

421 Para tener idéa de los límites de la exâctitud del método, veamos tambien, qual es el error que puede resultar en el seno de la latitud, ó en la latitud misma, del cometido en la altura del astro y en el interválo empleado.

En quanto á la primera causa: la fórmula $u' = \frac{rrh' - rsx}{cy}$ dará diferenciando $du' = 0$ $= \frac{rrcdh' - rxcds - rrh'dc + rsxdc}{ccy}$, y substituyendo $-\frac{sds}{c} = dc$, se tendrá $ds = \frac{cc}{rx - h's} \times dh'$.

422 Si se quiere el error de la latitud, no hay mas que substituir $\frac{cdL}{r} = ds$, y resul-

ta-

tará $dL = \frac{rc}{rx - h's}$.

423 En quanto al error en la duracion observada, tómese $rrh' - rsx = cyu'$, y diferenciando respecto á u', s, c, se tendrá $-rxds = cydu' + yu'dc$, y poniendo $dc = -\frac{sds}{c}$, resultará $ds = \frac{ccy}{yu's - rcx} \times du'$.

424 Para deducir ahora la relacion directa entre la diferencial del ángulo horario y la de la latitud, no hay mas que substituir $ds = \frac{cdL}{r}$, y $du' = -\frac{t'dA'}{r}$, y se tendrá $dL = \frac{cyt'}{rcx - yu's} \times dA'$.

425 Si el astro estuviese en el equador, la fórmula de la latitud (410) se reduce á la siguiente, $s = \frac{r}{p}\sqrt{(pp + \frac{2qhh'}{r} - hh - h'h')}$.

426 Nuestra proposicion abraza tambien el caso en que se tiene el tiempo que un astro está sobre el horizonte ó debaxo, que contraido al Sol es el problema 22 de la Astronomía náutica. Mr. de

de Maupertuis se aplicó particularmente á ensanchar y perfeccionar el método de los antiguos para encontrar la latitud por la duracion del dia: y en efecto logró, que aquel método, que como preferido por Ptoloméo solo era practicable en los solsticios, no tuviese mas excepcion que la irremediable de los dias equinocciales. Pero este método, que para decir la verdad, aún tomado en toda su extension, no nos parece tan dificil como Mr. de Maupertuis insinúa, está sujeto á las grandes irregularidades de la refraccion horizontal: y por tanto creeríamos mas útil recurrir á las observaciones de las alturas, particularmente quando de este modo, el intervalo entre ellas puede adaptarse á la confianza que merezca el relox con que se mida. Exâminémos, no obstante, las circunstancias del problema en el caso de que se trata.

427 Suponiendo el astro en el horizonte, la equacion (408) fundamental es esta

$$s^2 = \frac{rrppyyy'y'}{rryyx'x' + qqxxy'y' + rrppy'y' - 2rqxx'yy'}.$$

Representémos ahora por T, y T' las tangentes de las declinaciones de los astros, y será substituyendo en ella $\frac{Ty}{r} = x$, y $\frac{T'y'}{r} = x'$,

$s^2 =$

$s^2 = \frac{r^4 ppyy}{rrT'T'yy + qqTTyy + r^4pp - 2rqTT'yy}$. Poniendo ahora en el tercer término del denominador $rr = \frac{TTyy}{xx}$, despejando en el quebrado la cantidad comun yy, y haciendo las correspondientes reducciones, resultará esta otra expresion $ss = \frac{r^4pp}{rrT'T' + rrTT + rrpp - 2rqTT'}$, y substituyendo $rr - cc = ss$, $cc = \frac{rr(rrTT + rrT'T' - 2rqTT')}{rrpp + rrTT + rrT'T' - 2rqTT'}$.

Si llamamos ahora M á la tangente de la latitud, tendrémos por aquellas equaciones $M^2 = \frac{rrss}{cc} = \frac{r^4pp}{rrTT + rrT'T' - 2rqT'T}$, y por consiguiente $M = \frac{rrp}{\sqrt{(rrTT + rrT'T' - 2rqTT')}}$. Expresion general para hallar la latitud por el tiempo que un astro está encima ó debaxo del horizote.

428 Si suponemos la declinacion invariable, la fórmula se reducirá á $M = \frac{rrp}{\sqrt{(2rTT(r-q))}}$, esto

to es á $M=\frac{rr\sqrt{(r+q)}}{T\sqrt{2r}}$, y haciéndose cargo de que entonces cada ángulo horario es igual á la mitad del intervalo entre las observaciones, será $q=\frac{2u^2-r^2}{r}$, lo que substituido dará $M=\frac{ru}{T}$.

429 Mr. de Maupertuis, en la resolucion de su problema, se ciñe á indicar el uso que puede hacerse de la fórmula demostrada (406), que se reduce en este caso á, $-rsx=cyu$: y en efecto, de ella se deduce la expresion hallada de M. Este es además el camino mas natural y facil, limitándose al único caso de Mr. de Maupertuis; pero nosotros hemos elegido el otro, para manifestar la generalidad de nuestra fórmula, y la facilidad con que puede simplificarse, segun las condiciones á que se contraiga.

430 Pero como lo que observamos es la salida ú ocultacion aparente de los astros, siempre que se quiera hacer uso de aquella fórmula, será necesario atender á los efectos de la refraccion y paralaxe, y reducir sus elementos verdaderos á la misma época. Para vencer esta dificultad Mr. de Maupertuis propone, añadir ó restar del tiempo observado el efecto total de aquellas dos causas. Por exemplo,

plo, en el Sol, substraer la suma de los intervalos de que anticipan la salida y atrasan la ocultacion en el horizonte. Con este objeto busquémos, pues, lo que una corta diferencia en la altura altera el ángulo horario.

Empleando la fórmula $cyu' = rrh' - rsx'$, y haciendo variables u' y h', tendrémos $cydu' = rrdh'$; cuya expresion (417), substituyendo $-\frac{t'dA}{r} = du'$, y $dh' = \frac{kdH}{r}$, dará $dA = -\frac{rr'k}{cyt'} \times dH$, que, convertida en tiempo, indica la alteracion del ángulo horario.

Esta fórmula, como se vé, puede tambien aplicarse á los casos en que el astro esté elevado, y sería útil, si quisieran emplearse en la resolucion del problema general, las alturas aparentes en lugar de las verdaderas.

431 Para atender al influxo de la variacion en declinacion, quando no se recurra al método directo y rigoroso que facilita la fórmula (408), no hay mas que hallar, por la que manifiesta su relacion (417), lo que esta causa altera la aparicion ú ocultacion del astro. Esto es tambien lo que propone Mr. de Maupertuis, y nuestra expresion general $-dA = \frac{cu'x - rsy}{cyt'} \times dD$ puede facilmente re-

ducirse á la suya; porque, siendo $b' = o$, se tiene (406) $-rsx = cyu'$, y por consiguiente $cu'xy - rsyy = -rsxx - rsyy = r^3 s$. Pero en la práctica será muy suficiente, suponer constante en todo el interválo la declinacion media entre la ortiva y la ocasa.

432 Para abrazar todas las circunstancias del problema, resta todavia que complicarlo con la mudanza de lugares, de una observacion á otra. En este caso, la direccion y distancia andada manifestarán, con poca incertidumbre, las diferencias en latitud y longitud ocurridas, para aplicar las correspondientes correcciones á la duracion observada.

La de la longitud, es claro, que convertida en tiempo, dará lo que debe añadirse ó restarse, segun se haya caminado ácia el oriente ú occidente, para reducir los fenómenos al primer lugar.

433 En quanto á la correccion procedente de la diferencia en latitud, tambien resulta de las fórmulas establecidas; pues (424) tenemos $d\,A' = \frac{rcx - yu's}{cyt'} \times d\,L$. Pero esta expresion, en el caso actual, puede aún simplificarse, porque la fórmula (406) se reduce á $-rsx = cyu'$; y asi $rccx - cyu's = rccx + rssx = r^3 x$; de donde se sigue, que

que $-dA=\frac{r^3 x}{ccty}$. Expresion igual á la de la Astronomía náutica.

434 De este modo puede resolverse por aproxîmacion el caso de que tratamos, pero nuestro problema general nos ofrece al mismo fin un método rigoroso mas ventajoso, y que Mr. de Maupertuis no pudo indicar por no haberlo considerado. En efecto, se vé, que, por la refraccion y paralaxe, podrán deducirse facilmente las alturas verdaderas del astro al punto de salir ó ponerse á la vista en el horizonte sensible: por una marcacion (404), y el camino hecho podrán tambien reducirse aquellos datos á los que se habrían observado en el mismo lugar; y estos, introducidos en la fórmula (408) con las declinaciones de ambos instantes y el interválo medido, darán exâctamente la latitud del lugar á que se hayan referido las alturas.

435 Nuestra resolucion tambien abraza el caso en que se conoce el tiempo que el disco ó diámetro de un astro emplea en atraversar un almicantarát conocido ó el horizonte. Pero este problema, no siendo el curso del astro muy obliquo al almicantarát, puede resolverse por un método mas facil que se deriva naturalmente de la fórmula demostrada (406).

Haciendo en ella h, y u variables, se tiene $rrdh = cydu$, y substituyendo $dh = \frac{k}{r} dV$ (expresando V la altura), y $du = -\frac{t}{r} dA$, $-rrkdV = cytdA$; de donde, substituyendo el valor de t sacado de la fórmula (406) en cantidades conocidas, y resolviendo la equacion, resultará el de s.

436 Suponiendo, pues, que se observe la salida ú ocultacion del astro, tendrémos $k = r$, y la fórmula (406) reducida á $-rsx = cuy$, dará $t = \frac{rr}{cy} \sqrt{(yy - ss)}$; de donde se sigue, que

$$s = \sqrt{\left(yy - rr\frac{dV^2}{dA^2}\right)}.$$

437 Es de notar, que la resolucion de nuestro problema dá tambien la hora, con tal que se conozca la ascension recta de uno de los astros; pues teniendo (406) $u = \frac{rrh - rsx}{cy}$, no hay mas que substituir los valores de s, c hallados, para deducir el ángulo horario; y, por la diferencia ascensional, la hora.

438 *Dadas tres alturas de qualquier astro, con los intervalos de tiempo que las dividen, hallar la latitud.*

Ex-

Expresando por h, h', h'' los senos de las tres alturas, y por u, u', u'' los cosenos de los tres ángulos horarios, tendrémos (406):

$$rsx = rrh - cyu$$
$$rsx = rrh' - cyu'$$
$$rsx = rrh'' - cyu''$$

de donde, despejando rsx, resulta:

$$rrh - cyu = rrh' - cyu'$$
$$rrh - cyu = rrh'' - cyu''$$

y despejando cy:

$$\frac{h - h'}{u - u'} = \frac{h - h''}{u - u''}$$

ó haciendo $h - h' = H'$, y $h - h'' = H''$:

$$(H' - H'')\, u = H' u'' - H'' u'$$

Representando ahora por p y q el seno y coseno del intervalo entre la primera y la segunda observacion, y por p' y q' los del intervalo entre la primera y la tercera, tendrémos estas dos equaciones $u' = \frac{qu - pt}{r}$, y $u'' = \frac{q'u - p't}{r}$ (1); cuyas expresiones, substituidas en la antecedente, darán:

$$(H' - H'')\, ru - (H'q' - H''q)\, u = (H''p - H'p')\, t$$

de

(1) Volvemos á repetir la advertencia sobre los signos; pues siempre se vé, que, variando la suposicion, deberán tambien variar los signos (407).

de donde resulta $\frac{rt}{u}=r\left(\frac{rH'-rH''-H'q'+H''q}{H''p-H'p'}\right)$: expresion del ángulo horario en el instante de la primera observacion.

439 Conocido el primer ángulo horario, será facil deducir los otros dos por las equaciones $u'=\frac{qu-pt}{r}$, y $u''=\frac{q'u-p't}{r}$. Pero dos bastan para la solucion del problema; y asi, suponiendo conocidos u, y u', las fórmulas

$$rsx=rrh-cyu$$
$$rsx=rrh'-cyu'$$

darán, $sx=\frac{rh'u-rhu'}{u-u'}$, y $cy=\frac{rrh-rrh'}{u-u'}$

Ó haciendo $\frac{rh'u-rhu'}{u-u'}=rA$, y $\frac{rrh-rrh'}{u-u'}=rB$, tendrémos $sx=rA$, y $cy=rB$, y por consiguiente $ss(rr-yy)=rrAA$, y $(rr-ss)\times yy=rrBB$.

Despejando ahora yy en ambas equaciones, resultará:

$s^4+(BB-AA-rr)s^2=-rrAA$, y haciendo $BB-AA-rr=-rC$, y resolviendo la equacion:

$$s^2=\frac{rC}{2}\pm\frac{r}{2}\sqrt{(CC-4AA)}.$$

Si

440 Si se busca la declinacion del astro, se hallará $xx = \frac{rC}{2} \mp \frac{r}{2} \sqrt{(CC - 4AA)}$; y por consiguiente, para evitar el equívoco, convendrá elegir un astro, cuya declinacion difiera bastante de la altura del polo.

441 El cálculo del ángulo horario y latitud por logarithmos no es dificil en las expresiones antecedentes, pero la segunda operacion podrá simplificarse mucho, del siguiente modo.

Representémos por m, y n los cosenos de la suma y diferencia de la declinacion y altura del polo, y será:

$$\frac{cy - sx}{r} = m, \text{ y } \frac{cy + sx}{r} = n$$

de donde resulta $\frac{m+n}{2} = \frac{cy}{r}$, y $\frac{n-m}{2} = \frac{sx}{r}$; y por consiguiente, substituyendo en aquellas equaciones los valores hallados de cy, y sx:

$$\frac{m+n}{2} = \frac{rh - rh'}{u - u'}, \text{ y, } \frac{n-m}{2} = \frac{h'u - hu'}{u - u'}$$

de donde resulta:

$$m = \frac{h(r+u') - h'(r+u)}{u - u'}$$

$$n = \frac{h(r-u') - h'(r-u)}{u - u'}$$

Por

Por esta expresion podrán calcularse expeditamente *m*, y *n*: y por estas cantidades la latitud y declinacion, conocido ya el ángulo horario.

442 Quando la declinacion del astro varíe en los intervalos, se podrá introducir esta consideracion por alguno de los medios indicados.

443 Este es el problema que se creía indeterminado, y á que han dado tan bellas soluciones MM. Daniel Bernoulli, Herman, Euler, Mayer, Krafft, Maupertuis, d'Alembert y Bezout, pero cuya utilidad es muy corta, ó nula. El método antecedente es, por la mayor parte, el de la Astronomía náutica.

ALGUNOS PROBLEMAS PARA HALLAR la hora.

444 La hora puede hallarse por una sola altura de qualquier astro, cuya declinacion sea conocida, con tal que tambien se conozca la latitud del lugar de la observacion; pues, calculado el ángulo horario, la distancia del Sol al meridiano resulta por la diferencia entre su ascension recta y la del astro. En el primer Libro (Princip. Astronom. 171) hemos dado las reglas para este cálculo: veamos ahora, quales son las circunstancias

cias mas ventajosas para la observacion.

445 Como el fin se reduce, á que el error inevitable de la altura influya lo ménos posible en el horario calculado, las expresiones ó analogías diferenciales manifiestan facilmente las siguientes reglas.

1.° En general son preferibles los astros, cuya declinacion es corta ó nula: y conveniente observar el elegido al instante de su pasage por el vertical primario.

2.° Conviene, que el ángulo paralático sea recto, ó próxîmo á recto.

Por esto son preferibles los astros, que en su revolucion diurna pasan entre el zenit y el polo elevado: y un astro de estos deberá observarse, quando el vertical toca el paralelo, ó lo que es lo mismo, quando el vertical es perpendicular al círculo de declinacion.

3.° Quando los astros en su revolucion diurna pasan á la otra parte del zenit respecto al polo elevado, no puede verificarse aquella circunstancia, pero entonces hay un punto de cada paralelo en que conviene observarlo: y este es aquel en que [1] se tie-

(1) Esta equacion resulta por el método de los máxîmos y mínimos, haciendo uso de la expresion analítica del ángulo paralático (fig. 26 primer Libro) $sen^2 \frac{1}{2} M = \frac{\frac{1}{2} cos\,(MP - MZ) - \frac{1}{2} cos\,ZP}{sen\,MP \times sen\,MZ}$, y diferenciando respecto á MZ.

tiene (supuesto el radio $=1$), *seno altura* $= \frac{sen.\,declin.}{sen.\,latit.}$

Por esta fórmula, podrá determinarse en un instante dado, el astro que deba preferirse entre todos los que tienen una misma declinacion.

446 Propongamos ahora algunos problemas, para ver como puede hallarse la hora, sin conocer la altura del polo.

447 *Dadas las alturas de dos astros conocidos, y el tiempo pasado entre las observaciones, hallar la hora.*

Fig. 43. Supongamos, que el primer astro se haya observado en *a* al instante en que el segundo astro estaba en A: y que, en el interválo entre las dos observaciones, este astro haya corrido de A á A′. El ángulo APA′ será igual al interválo de tiempo convertido en grados, conforme al movimiento diurno del astro; y restado del ángulo AP*a*, conocido por la diferencia de las ascensiones rectas, ó sumados los dos ángulos, quedará el ángulo A′P*a*.

Con esto, en el triángulo A′P*a*, se tienen los dos complementos de las declinaciones de los astros A′P, *a*P, y el ángulo comprehendido; por cuyos datos, podrá calcularse el tercer lado A′*a*, y los ángulos PA′*a*, P*a*A′.

Conocidos de este modo los tres lados del triángu-

gulo $A'Za$, en que $A'Z$, aZ representan los complementos de las alturas observadas, se tendrá facilmente uno de los dos ángulos $ZA'a$, ZaA; y, por su diferencia con el correspondiente de los hallados ántes, el ángulo paraláctico $ZA'P$, ó, ZaP.

Ultimamente: en uno de los triángulos $ZA'P$, ZaP, por dos lados y el ángulo comprehendido, podrá determinarse el horario ZPA', ó ZPa; y, por la ascension recta del astro correspondiente, la hora verdadera.

448 Si las observaciones son contemporáneas, el cálculo es el mismo, y solo se diferencia del explicado, en que el ángulo $A'Pa$ es igual á la simple diferencia de ascensiones rectas.

449 Si las dos alturas sucesivas son del mismo astro, la solucion del problema tampoco varía, y solo se diferencia de la dada, en que el ángulo $A'Pa$ es entonces igual al intervalo convertido en grados.

450 En qualquier caso, la altura del polo puede tambien determinarse por los mismos datos, y resulta inmediatamente de la resolucion del triángulo $ZA'P$, ó ZaP, que hace conocer su complemento ZP. Y asi se vé, como puede resolverse por Trigonometría esférica el mismo problema á que (405) hemos aplicado el Algebra.

451 La hora podrá tambien hallarse, sin emplear las alturas de los astros, y esto por diferentes métodos, de los quales solo apuntarémos el siguiente.

452 *Conocida la altura del polo, y observados dos astros, con sus declinaciones y ascensiones rectas dadas, en el mismo vertical é instante, hallar la hora.*

En el triángulo *e* P *a*, se conocen los dos lados *e* P, *a* P, complementos de las declinaciones de los dos astros *e*, *a*, y el ángulo comprehendido *e* P *a*, diferencia entre sus ascensiones rectas; y por estos datos, podrá calcularse el ángulo *a e* P.

El suplemento de *a e* P dará el ángulo Z *e* P; con el qual, el complemento de la latitud Z P, y el lado *e* P, quedará determinado el triángulo Z P *e*; y, por la resolucion de éste, conocido el ángulo horario Z P *e*.

453 La resolucion algebráica de este problema fué inventada por Mr. de Maupertuis, pero, á la verdad, su uso no es tan útil como este sábio tal vez imaginó; pues, la observacion de los dos astros en el mismo vertical carece, en la mar, de la exâctitud que Mr. de Maupertuis la atribuye en la Astronomía náutica.

454 Los problemas de esta clase podrían multiplicarse casi al infinito, y requieren tan pocos prin-

principios, que qualesquiera, inteligenciado en los principios de la Cosmografia y Trigonometría esférica, hallará sus soluciones y discurrirá nuevas proposiciones facilmente. Sin embargo, remitiéndonos aqui á lo dicho (397) sobre los métodos indirectos, aconsejamos otra vez no valerse de ellos, sino, para adquirir idéas, ó por via de exercicio.

455 Si, á pesar de esto, alguno hallase de ménos en nuestro Tratado las especies que, como ociosas, evitamos, podrá recurrir á la Astronomía de Marinos, donde el Padre Pezenas ha tenido cuidado de amontonar un gran número de proposiciones inútiles, y exemplos compuestos de Trigonometría esférica.

NOCIONES GENERALES
sobre el problema de la longitud.

456 Desde que Hipparco discurrió fixar los puntos de la superficie terrestre como los del firmamento, la determinacion de las latitudes y longitudes por las observaciones celestes han constituido uno de los principales ramos de la Astronomía, y de los que han hecho mas patente la utilidad práctica de esta ciencia. La observacion de la latitud es facil de varios modos: y, señalado por el mis-

mismo curso del Sol el equador á que se refiere, la sombra de un estílo el dia del equinoccio basta para determinarla. La de la longitud, al contrario, requiere una señal para notar entonces la hora que se cuenta en dos distintos lugares (P. A. 420): y como qualquier defecto, tanto en la percepcion y uso de la señal, como en el aprêcio de la hora, produce graves errores en las conseqüencias, los progresos de la teórica en esta parte han sido muy lentos, y los hechos últimamente deben numerarse entre las pruebas que deciden sobre la superioridad de los conocimientos modernos.

457 Hipparco fue el primero que percibió la utilidad de los eclipses lunares, como fenómenos propios para estas señales. Keplero, perfeccionando el método de calcular los eclipses solares, no dexó de aplicarlos al mismo importante objeto: en que, por caminos semejantes, se han empleado despues los eclipses ú ocultaciones de las estrellas por la Luna. Y Galiléo, descubriendo en los satélites de Júpiter un teatro continuamente variado por fenómenos sensibles, añadió á los conocidos ántes estos medios, que despues han perfeccionado D. Cassini, y Mr. Wargentin.

458 Cada uno de estos métodos tiene su ventaja particular (P. A. 421), y todos contribu-

buyen al fin de establecer las posiciones de los lugares en la superficie de nuestro globo. Este conocimiento, que dexó de ser un objeto de pura curiosidad desde que la ambicion de las conquistas y la codicia de las riquezas arrancaron á los hombres de su nativo suelo, es en la mar de una importancia, que, influyendo directamente en la suerte de los navegantes, ha exîgido siempre todos los esfuerzos de los que creyeron poder contribuir en esta parte á la seguridad de los viages marítimos. Las dificultades, no obstante, se han hallado enormemente aumentadas en este caso: y el problema de las longitudes en la mar, superior por largo tiempo á nuestros medios y á nuestras fuerzas, es de aquellos en que pareciamos condenados á desear perpetuamente lo mismo que necesitamos.

459 Los obstáculos que esencialmente diferencian el problema de la longitud en la mar y en tierra consisten: 1.° en las dificultades de la observacion práctica: 2.° en el indispensable cálculo anticipado del fenómeno: 3.° en la necesaria freqüencia de las señales.

En efecto: para observar los eclipses y apulsos, es necesario aproxîmar en apariencia los objetos con el telescopio: y, aunque con la invencion de los anteojos achromáticos, se ha facilitado considerablemente

siderablemente el manejo de estos instrumentos (P. A. 503), las agitaciones del buque hacen, que el mayor cuidado no baste para conservar los astros en el campo del que se usa. Este inconveniente se ha procurado vencer con una silla suspendida, para que el observador mantenga cómodamente la misma posicion en ella; pero las pruebas hechas con los primeros modelos nos dán muy poca esperanza de conseguir alguna ventaja por este camino, y desde luego han prevenido toda posterior tentativa para perfeccionarlo.

El segundo obstáculo es tambien muy considerable. En tierra, de las observaciones de un fenómeno en diferentes lugares resultan las distancias de sus meridianos: y si fuera posible que todos los hombres estuviesen atentos á la misma señal, muy pocos fenómenos bastarían para conocer y describir la superficie de la Tierra. En este caso, tambien importaría poco, que las noticias de las observaciones retardasen la comparacion, y al fin sería suficiente la certeza con que, averiguadas una vez, quedarían establecidas para siempre las posiciones relativas de todos los lugares. Al contrario, un buque navegando no puede esperar la observacion correspondiente, y al preciso tiempo en que vió el fenómeno, necesita saber por el cálculo de los movimien-

mientos celestes en qué hora debió suceder de un meridiano conocido. Esta determinacion tambien queda inútil para todos los navegantes sucesivos, y aún al que la hizo solo puede servir para dirigir sus operaciones en el corto intervalo que tardan en amontonarse los errores de la estima.

Por esta razon, el método de las longitudes en la mar debe ser tal que la dé con mucha freqüencia; y asi, aún quando no hubiese otros obstáculos, los eclipses lunares y solares, por su rareza, serían del todo insuficientes para el caso. Los de los satélites de Jupiter serían utilísimos, por la freqüencia con que suceden, y facilidad de observarlos, á excepcion de los dos meses en que el planeta principal se halla próxîmo ó en su conjuncion con el Sol. Pero inútil este recurso, por las causas indicadas, se vé desde luego, que la Luna, cuyo movimiento es tambien muy veloz, podrá, por sus diferentes posiciones sucesivas y perceptibles en el firmamento, suplir el defecto de los fenómenos instantáneos (P. A. 420) de que carecemos.

460 Nada hace tan patente el grado de dificultad de estos obstáculos y la importancia de vencerlos, como los prémios ofrecidos para promover la resolucion del problema de la longitud. El Rey de España Felipe III, fue el primero que adoptó este

medio de avivar la natural emulacion de los sábios en los empeños de tal clase. Y nosotros, como amantes de nuestra patria notarémos, que un exemplo tan propio para accelerar la perfeccion de la Navegacion, era regular que lo presentase el mismo pais que la dió el ser considerada como ciencia [1]. Las Provincias unidas, y el regente de Francia Duque de Orleans imitaron tambien aquel noble modelo. Pero la mayor recompensa asignada á este descubrimiento fue la de 20000 libras esterlinas, prometidas en 1714 por el Parlamento de Inglaterra.

Esta recompensa, que no pedia mas precision que la de medio grado en seis semanas, es comparable á su objeto: y, asegurando un descanso competente á los grandes esfuerzos, no podia ménos de convidar á emprender una carrera que, por dificil, debia recelarse que fuese abandonada. La gloria es sin duda el movil mas fuerte de las grandes almas; pero ya que las primeras necesidades de la

(1) El *Arte de Navegar*, *por Pedro de Medina*, impreso en Valladolid año de 1545: y el *Breve Compendio de la Esfera y del Arte de Navegar*, *por Martin Cortés*, impreso en Sevilla en 1556 son los primeros tratados en que los principios del Pilotage se hallan reducidos á sistéma: y sus traducciones, hechas inmediatamente en todas las lenguas de la Europa marítima, sirvieron solas por mucho tiempo para la enseñanza de sus Pilotos.

la vida nos obligan con freqüencia á desatenderla, quando no la esperamos asociada á la fortuna, es necesario acordarse de que las grandes cosas exîgen siempre grandes motivos: y á lo ménos, presentar el interés de un modo, que, sin ofender á la delicadeza, pueda excitar la emulacion con sentimientos nobles. Estas máxîmas han regido la conducta del gobierno inglés constantemente desde aquella época: y un tribunal establecido para exâminar, y premiar qualquier invencion ó adelantamiento en favor de la Marina, no hace ménos honor á la oportuna generosidad del parlamento, que á la profundidad de sus idéas políticas: en esta ocasion unidas al bien general de todas las Naciones.

461 Los deseos, pues, de señalarse en una carrera, no ménos útil que brillante, han producido varias tentativas, pero unas totalmente absurdas, otras imperfectas en la teórica, y otras inaplicables á la práctica. En tales casos, la natural presuncion de los ignorantes dá facil salida á las dificultades que no conocen, y los sábios padecen con freqüencia la desgracia de florecer en tiempos, cuya poca ilustracion no les facilita todos los medios de que podrían aprovecharse. Asi, ha sido necesario que la Mecánica, la Astronomía, y la Física hayan adelantado muchos pasos ácia su perfeccion, para sacar

fruto de las idéas largo tiempo inútiles por esta causa: y la misma série de los conocimientos, indicando sus ventajas, han fixado últimamente la atencion en los métodos de los reloxes y movimientos lunares, que son los únicos á que en la actualidad nos hallamos reducidos.

462 El primero es sin duda el método mas natural de todos los que pueden ofrecerse; porque consiste en embarcar un relox, que, arreglado á la salida del puerto, conserve exâctamente la hora de un meridiano conocido. Pero una máquina que mantenga esta exâcta uniformidad, á pesar de la variedad de temperamentos y agitaciones de la nave, es cosa no ménos dificil en la execucion que importante y simple en su uso. Asi Gemma Frisio, primero, y despues Mecio y otros, intentaron en vano el servirse á este fin de pequeñas muestras, y aún el célebre Huygens no logró mas ventajas al querer aplicar los péndulos al mismo objeto. Para obtener mejor suceso, era necesario, que la Mecánica y el arte de la Reloxería recibiesen muchos grados de perfeccion: y estos progresos que, como todos los de las Ciencias y Artes, tienen su curso natural y preciso, debian ser la obra del tiempo que adelanta, sazona y perfecciona nuestros conocimientos. Dichosamente para nosotros, esta intere-

re-

resante época se ha verificado en nuestros dias: y, precedidos de los trabajos de Graham, Sully y Julian le Roy, algunos célebres artistas acaban de hacer un gran bien á la Europa, con la invencion de máquinas propias para conservar en la mar el tiempo uniforme.

463 El inglés Mr. Harrison merece sin duda los honores de la primacia en este utilísimo descubrimiento; pero MM. Berthoud y le Roy lo obtuvieron igualmente en Francia, sin noticia de sus principios. Los reloxes de Mr. Harrison, despues de haber pasado pruebas muy largas y duras, consiguieron con mucha justicia, aunque disputada, la recompensa ofrecida por el Parlamento: y Mr. le Roy, hijo del famoso Julian, obtuvo el prémio propuesto en 1773 por la Academia de las Ciencias de París (1) sobre el mismo objeto. Las máquinas de los últimos artistas se han experimentado tambien en diferentes viages con el mayor esmero, y de sus resultas, pueden asegurarse á medio grado de error en seis semanas: que era lo que exîgia el acta del Parlamento.

Á la verdad, los mismos reloxes en varias ocasio-

(1) Es de advertir, que Mr. Berthoud, por razones reservadas, no concurrió á este prémio.

siones han sido mucho mas exâctos; pero es necesario tener presente, que, para juzgar de qualquier método, por la avaluacion de los errores posibles, deben consultarse ménos las ventajas conseguidas en ciertas circunstancias, que los límites á que pueda ceñirse la confianza en todo caso.

464 Pero, por mas útiles que sean actualmente estas máquinas, y por mas que se perfeccionen en lo sucesivo, es evidente, que siempre quedarán sujetas al efecto de los accidentes extraños, y que los buenos principios de la construccion, nunca las libertarán de ciertas irregularidades en su movimiento. El cúmulo de estas irregularidades, con el tiempo, puede producir errores considerables; y asi, el uso de los reloxes exîge mucha prudencia, y nunca deberá considerarse ni emplearse como medio único. Este método es bueno para una travesía corta y por climas bastante iguales, como la del sur de Europa á las Antillas: su utilidad es sobre todo incomparable, para levantar la Carta de una costa, como se executa ahora de orden de nuestra Corte, verificándolos en los puertos de tiempo en tiempo. Pero quando se trata de una navegacion como la de España al Océano pacífico, la debida seguridad exîge, que, con los reloxes, se usen los métodos astronómicos. Estos últimos corregirán continuamente

te los errores del relox, que no se advertirían de otro modo, y fixarán épocas próxîmas, en cuyos intermedios puedan emplearse con exâctitud sus diferencias.

465 Los métodos astronómicos, que actualmente se reducen á los lunares, son, pues, los mas generales y útiles: y los sábios, que sucesivamente se han dedicado á perfeccionarlos, son sin duda acreedores á la mas viva gratitud de los navegantes. Juan Werner de Nuremberg, en 1514, parece el primero que propuso esta aplicacion de los movimientos de la Luna: y despues de él Pedro Apiano, Gemma Frisio, Keplero, Juan Bautista Morin y otros. El Doctor Halley, guiado de las mismas miras, tambien se aplicó á perfeccionar este método; pero, por falta de un instrumento propio para observar en la mar las distancias de la Luna á los demás astros, se contraxo á los apulsos y ocultaciones de las estrellas, hasta que, publicada la invencion del Octante, concibió fundadas esperanzas de vencer aquel obstáculo.

466 La mayor dificultad de los métodos lunares, y la que frustró las diligencias del infatigable Doctor Halley, consistía en la imperfeccion de las tablas de este satélite. Su lugar en el Cielo y el calculado, aún por las tablas corregidas segun las

las fórmulas de Newton, diferian siempre considerablemente: y la aplicacion á las longitudes exîgía, que el error, quando mas, fuese de un minuto con corta diferencia. El Doctor Halley creyó llegar á este grado de exâctitud, por medio de las equaciones empíricas (1) determinadas durante el periodo antiguo de los Chaldeos que él llamó *saros*; pero el escaso fruto de sus mismas observaciones, debió manifestar muy breve la insuficiencia de este trabajoso método. No quedaba, pues, otro recurso, que apelar al principio de la atraccion, profundizándolo en general, y siguiéndolo en sus conseqüencias particulares: y en efecto, se hecha de ver, que, descubierta la ley con que actúan entre sí los cuerpos celestes, su conocimiento debia bastar para predecir y demostrar todos los fenómenos del movimiento de qualquier astro.

Esta, que era la mayor prueba que faltaba á aquel sistéma, se reduce á la resolucion del problema de los tres cuerpos; pero este problema, por sí no ménos dificil que importante, debia parecer tanto mas inexpugnable, quanto el gran Newton no habia hecho mas que desflorarlo: dexando expuesta en esta par-

(1) Llamase *equacion empírica*, la hallada por las observaciones de un planeta, con independencia de toda teórica.

parte la reputacion de su principio. La asombrosa superioridad de aquel grande hombre no le hacia ménos perecedero que los demas de su especie: y obligado á asegurarse de su sistéma, comparándolo en un corto intervályo á toda la naturaleza, precisamente habia de contentarse con juzgar por una conformidad distante, cuya fuerza él solo penetraba. Por fin tres geómetras, justamente célebres en nuestros dias, concibieron casi al mismo tiempo el gran proyecto de llegar mas lejos que Newton por el mismo camino que él habia indicado: y de resultas, la atraccion debe á MM. d' Alembert, Clairaut y Euler una completa demostracion, que, poniéndola entre las verdades, la hará para siempre induvitable.

467 Los medios empleados en esta empresa por los tres geómetras, y su fruto pueden mirarse como pruebas capaces de medir la inteligencia humana: y debiendo formar una distinguida época en la Historia general de nuestros conocimentos, merecen en la de las longitudes un lugar particular, por ser el verdadero fundamento, tanto de los progresos hechos, como de los que pueden esperarse en los métodos lunares. MM. d' Alembert, Clairaut y Euler se tomaron el trabajo de construir nuevas tablas por los principios teóricos de la solucion del pro-

blema de los tres cuerpos : y de estas tablas, las de los dos últimos geómetras, que son las mas estimadas y corregidas, dán el lugar de la Luna, las mas veces, con el error de ménos de un minuto. Conformidad que parecerá asombrosa, si se consideran los caminos expuestos y dificiles que conduxeron á los resultados, y de que se deduce una prueba, no ménos convincente del mérito de la solucion, que de la fuerza del principio fundamental de ella.

468 No contento con este grado de precision, Mr. Mayer de Gottinga, habiendo comparado las tablas de Mr. Euler al Cielo, se propuso corregirlas, rectificando los resultados de la teórica por medio de los fenómenos : y en efecto llegó á formar, de este modo, una coleccion de tablas lunares mas exâctas que todas las anteriores. Este primer suceso no hizo mas que animarle á la perseverancia: y trabajando él mismo en la teórica de la atraccion, con el auxîlio de sus muchas observaciones y algunas adquiridas, logró perfeccionarlas á tal grado, que remitidas á los Comisarios de la longitud, para concurrir al prémio ofrecido en Inglaterra, valieron á su viuda una recompensa de 3000 libras esterlinas : bien debidas á trabajo tan precioso para la Navegacion.

469 Las tablas de Mayer no son, pues, las pu-

puras consequencias de la teórica newtoniana; pero, sin que sea contra el excelente recurso empleado en su construccion, es necesario conocer, que esto nada prueba contra el principio de la atraccion, no bien apurado todavia. Siendo de notar en apoyo de su solidez, que, aunque Mr. Clairaut hizo tambien uso de los fenómenos para rectificar su teórica y sus coeficientes, Mr. Euler, empleando únicamente la teórica, ha deducido despues las mismas cantidades.

470 Las preciosas tablas de Mayer son tambien el fundamento de otras mas exâctas, compuestas baxo la direccion de Mr. Maskelyne por Mr. Mason, con los cálculos de las observaciones del Doctor Bradley hechos por orden de los Comisarios de la longitud. El Astrónomo real nos dice, que estas tablas parecen dar la longitud de la Luna á ménos de 45″ de error. Pero, no contento con este suceso, y continuando su celo por los progresos de la Navegacion con la actividad que deben infundir las ilustradas miras y magníficos auxîlios del gobierno, ya nos ha proporcionado mayor precision en las de 1789 y sucesivas efemérides, á favor de nuevas tablas compuestas por el mismo Mason.

471 Estas Tablas, esto es, los movimientos

lunares, pueden servir para la determinacion de la longitud de varios modos. Mr. de la Caille, despues de un juicioso exâmen del método de las alturas de Mr. Pingré, y de otros varios, fué el primero [1] que demostró incontestablemente la preferencia que merece el de las distancias al Sol y estrellas zodiacales. Y se hecha de ver facilmente, que este método, que es el mas natural y directo, es al mismo tiempo el mas exâcto. Mr. Maskelyne, asegurado por su propia experiencia de esta verdad, lo recomendó con la mayor viveza á su regreso del viage á Santa Elena: y los Comisarios de la longitud, siempre atentos al desempeño de su instituto, adoptaron desde luego el proyecto del *Britih Mariner's Guide*, para la formacion de un Almanak náutico, semejante al que Mr. de la Caille habia propuesto.

472 La publicacion de estas efemérides en 1767, siendo el principio de la utilidad práctica de los progresos anteriores sobre la teórica de las longitudes, es una señalada época en la Navegacion, y una obligacion de gratitud que debe toda la Europa marítima á la generosidad con que el gobierno

(1) No puedo ménos de recomendar con este motivo la lectura de la Memoria de Mr. de la Caille sobre las observaciones de longitud. Mem. de l' Academie ann. 1759.

no inglés no perdona atencion ni gasto que pueda contribuir á la perfeccion y utilidad de esta obra. Diferentes astrónomos, con competentes pensiones, trabajan separadamente los cálculos, que otro compara y verifica: y el Astrónomo real, encargado de su direccion, los revisa por último, y cuida de publicar oportuna y anticipadamente baxo las ordenes y privilegio de la Junta de longitudes.

473 Como el noble objeto á que se dirigen estas tareas no es compatible con el encogimiento de una política envidiosa y limitada, el mismo sábio remite inmediatamente á París las distancias calculadas: y de este modo, el Conocimiento de los tiempos, que desde su primera apariencia en 1679, ha sido siempre una excelente obra periódica, viene á ser, aún en el dia, tan útil para la Navegacion como el Almanak náutico.

474 Con el auxîlio de estas efemérides quedaron los Pilotos dispensados del molesto uso de las tablas lunares, y las operaciones necesarias para hallar la longitud en la mar reducidas, á la correcion de la distancia observada, y á la determinacion de la hora. La primera parte, esto es, la deducion de la distancia verdadera, aunque la mas complicada, consiste directamente en la correccion de las dos alturas, y en la simple resolucion de dos triángulos es-

esféricos. Pero, para disminuir aún éste trabajo, MM. Lyons, Dunthorne y Maskelyne inventáron diferentes métodos, y simplificaron la práctica con algunas tablas. No obstante, conociendo, sin duda, que una clase en lo general poco instruida, siempre es enemiga de la novedad, aunque sea favorable, y que los Pilotos nunca saldrían de los estrechos límites de su rutina, sino combidados á emprender un camino libre de toda especie de embarazos, los Comisarios de la longitud emplearon diferentes calculadores para reducir á tablas el método de Mr. Lyons, que se estimó mas apropósito á este objeto, y en 1772 se publicaron al cuidado de Mr. Sheperd, Profesor de Astronomía y Maestro de Mecánica del Rey.

475 Con esta magnífica coleccion, el cálculo de la distancia verdadera se reduce á simples substracciones y adiciones, y todo el de la longitud puede hacerse con acierto, aún sin los conocimientos triviales de la Trigonometría esférica. Asi, si los Pilotos no caminan en la actualidad con una seguridad suficiente para la práctica, y que parecería quimérica á principios de este siglo, será, sin duda, por su propia ignorancia ó falta de celo, y nunca podrán quexarse del lugar que su salud ha merecido en la atencion de los Soberanos, y taréas de

de los sábios. Quizá el sistema de allanarles las dificultades ha sido extremo, y producido un efecto nocivo, promoviéndoles la superficialidad, que es el peor de los defectos de un facultativo.

476 Los progresos en los medios de practicar las observaciones de la Astronomía náutica han correspondido tambien con los de la teórica, y hecho inmediata la utilidad práctica de los principios. MM. Graham, Bird y Short llevaron la construccion y division de los instrumentos matemáticos á un grado de perfeccion tan desconocido ántes, como dificil de exceder en lo futuro, y Mr. Ramsden, en nuestros dias, ha adelantado algunos pasos en aquellas trazas, y aplicado sus conocimientos con especialidad á los Quadrantes de reflexîon. MM. Dollond, Wright, Gregory, Troughton, Sifson, Nairne y Blunt han trabajado al mismo objeto con un interés laudable, y MM. Maskelyne y Magallanes han hecho un uso ventajoso de sus principios y talentos, contribuyendo con varias invenciones al celo de aquellos célebres artistas. De resultas, el buen observador puede en el dia responder de la mayor precision en la distancia angular medida á bordo. Y es digno de notarse, que la Inglaterra, que ha facilitado á toda la Europa los instrumentos que han dado nuevo ser á la Astronomía, tiene tambien la glo-

gloria exclusiva de proveer á los Pilotos de los únicos medios capaces de aplicaciones exâctas y generales en los Observatorios marítimos errantes.

DEL USO DE LOS RELOXES MARINOS.

477 El uso de los reloxes marinos exîge fundamentalmente, que el movimiento sea uniforme, y que se conozca con exâctitud su relacion al tiempo medio. Y todo lo relativo á este asunto puede reducirse á dos puntos principales: 1.° la exâcta averiguacion del estado y movimiento del relox, respecto á un meridiano conocido: 2.° la aplicacion práctica de este principio, para hallar la longitud de la embarcacion en los viages. Pero, ántes de entrar en la explicacion de estas operaciones, convendrá que apuntémos algunas precauciones, que no deben olvidarse en el manejo de tales máquinas.

478 Varios artistas han trabajado con mucho fruto en ligar los metales y disponer las piezas de los reloxes, para que las dilataciones ó compresiones procedentes de los diversos grados de calor ó frio queden compensadas mutuamente, y no alteren la necesaria uniformidad del movimiento. Pero, como siempre será muy dificil desvanecer absolutamente todas las irregularidades, los reloxes marinos nun-

nunca deberán emplearse, sino verificándolos ántes, y exâminando los errores á que pueden estar sujetos por aquella causa.

479 Esto podrá executarse con facilidad, variando artificialmente el temperamento del parage en que esté el relox, para notar lo que adelanta ó atrasa en un interválo determinado, segun las alturas del Termómetro: ó viendo las alteraciones ocurridas en varios dias de distinto temperamento, y deduciendo los efectos correspondientes á los grados no observados, por interpolacion, ó á ojo, como MM. Fleurieux y Pingré lo practicáron (vease un exemplo de este método en el viage de Mr. Fleurieux, Apendice pag. 428. tomo 2). Algunas veces los mismos artistas acompañan sus máquinas con la tabla ya formada de las correspondientes correcciones; pero, aún en este caso, convendrá verificarlas, para prevenirse contra todo riesgo de descuidos ó inexâctitudes.

480 Las muestras de faltriquera, en que, suponiéndose perfecta la compensacion, se desatienden ordinariamente las variedades del temperamento, padecen algunas irregularidades, que tal vez podrían sujetarse á una ley que tuviese relacion con la escala del Termómetro.

481 La colocacion de los reloxes á bordo es

otro asunto, sobre el qual no pueden sobrar precauciones ni cuidados. Es necesario considerar la máquina como pronta á desarreglarse por qualquier accidente, y obrar en conseqüencia, segun dicte la ocasion, para establecerla en donde, compatible con la debida seguridad, quede ménos expuesta á las agitaciones del buque, y libre del peligro de las causas estrañas. Estas atenciones son mucho mas indispensables é importantes en los reloxes grandes, como los de Berthoud, que en los de faltriquera como los de Arnold. Y en los primeros conviene tambien, conducirlos parados á bordo, ántes de principiar las comparaciones.

482 Para ponerlos en movimiento, despues de montados, unos y otros necesitan una ó dos sacudidas circulares algo violentas: y no debe principiarse la comparacion, hasta despues de 24 ó 48 horas de movimiento, para dar lugar á que puedan repararse los efectos de los primeros desarreglos.

483 Tambien es importante, darles cuerda todos los dias á una misma hora, particularmente despues de largo uso.

484 Á estas advertencias, podrían añadirse otras varias, útiles en ciertas ocasiones; pero á nosotros no nos parece del caso detenernos en particularizarlas, porque la prudencia del que maneje los re-

reloxes podrá facilmente adaptar las precauciones á las circunstancias. Veamos ahora el método de arreglarlos en el puerto, y usarlos despues en la mar.

485 Los principios del primer Libro bastan para sugerir todas las operaciones de este procedimiento; pues se vé, que observada la relacion entre el relox y el tiempo verdadero, podrá deducirse, por la comparacion con este término, la inmediata entre el movimiento del relox y el tiempo medio; y por consiguiente, saber despues á cada instante la hora que se cuenta en un meridiano conocido. Estas operaciones son muy faciles y exîgen pocas atenciones y principios; pero como el uso del relox, aún no bastante introducido, comunmente parece dificil como nuevo, creemos oportuno aclararlas en lo posible, aunque sea alterando el estílo general de este tratado.

Á este fin tomarémos un exemplo sacado de los diarios de la campaña hecha en 1785 por el Brigadier D. Vicente Tofiño, para la formacion de Cartas, y el método que resulta podrá considerarse como norma de lo que conviene practicar en las aplicaciones usuales de estas máquidas.

486 Embarcado el relox, el dia 17 de Mayo de 1785, á bordo de la fragata Santa Lucía fondeada en la bahia de Cádiz, y puesto el mis-

mo dia en movimiento, se principió el dia 19 su comparacion con el Sol por medio del Péndulo del Observatorio. En las operaciones se usó el método de las alturas correspondientes, y parece superfluo advertir, pues la misma série de operaciones lo indica, que la comparacion en este caso se reduce, á hallar el medio dia medio en el relox, y cotejarlo con el tiempo medio calculado para el mismo instante. Este cotejo, repetido cierto número de dias, manifiesta con bastante exâctitud la cantidad en que el relox adelanta ó atrasa al tiempo medio; y, siendo ésta constante, la confianza que merece la cuenta sucesiva.

487 La acertada práctica de este método supone un buen Péndulo, un buen Quarto de círculo, y un parage que tenga alguna firmeza para Observatorio. En las observaciones no es objeto despreciable la eleccion de circunstancias favorables é intervâlos que las separan (P. A. 235), y el número de las alturas deberá ser tambien considerable, por si las nubes inutilizan algunas en la tarde. En parages de cielo incostante ó de mucha celagería, es tambien buena precaucion tomar las alturas de cinco en cinco, y hacerlas llegar hasta veinte, dexando entre cada monton un intervâlo de tiempo algo considerable, esto es, como de seis, ocho ó diez minutos. Y siempre es importante, que cada obser-

va-

vador siga sus propias observaciones, para los resultados de uno á otro dia; pues el método de observar de cada uno, y en particular las diferentes vistas y fuerza de anteojos, pueden producir una alteracion sensible en los medios dias deducidos por las alturas.

488 Observadas estas con la posible exâctitud, se deducirá el medio dia por cada par correspondiente, como manifiesta el exemplo: y excluyendo como dudosos los que se aparten considerablemente del mayor número, se sacará un promedio de los demas, y á éste se aplicará la equacion de las alturas, para tener el medio dia verdadero en el Péndulo. En el exemplo, hemos calculado la equacion directamente, y por las tablas publicadas en Madrid el año de 1779.

489 Pero como la averiguacion del mismo medio dia en el relox es el objeto á que se dirigen las operaciones, una de las diligencias mas delicadas de este método consiste en la comparacion del relox al Péndulo. Como qualquier defecto ó equivocacion en esta parte puede producir errores muy considerables, extenderémos aqui las precauciones observadas por D. Vicente Tofiño, que á nuestro parecer llenan su objeto.

Á la hora concertada, se hizaba una vandera ó gallardete en un parage visibles de la fragata, á que cor-

correspondian del Observatorio con otra señal qualquiera. Cinco minutos despues de haberse advertido de este modo la atencion recíproca, principiaban las señales de comparacion, y estas se hacian con tiros de fusil ó pistola, de uno en uno, ó de dos en dos minutos. En esta operacion solian emplearse dos individuos para el relox, y otros dos para el Péndulo. A bordo, uno contaba al relox en voz alta, le oia el que se habia apostado en parage visible, y diez segundos ántes del instante de la señal tendia el brazo para disparar. Atento á este movimiento, el del Observatorio advertia á su compañero, para que le contase en voz alta al Péndulo: de modo, que, disparando el tiro á bordo, quedaba notado el mismo instante en el relox y en el Péndulo, y apuntado en una y otra parte. Las comparaciones hechas por este método solian repetirse hasta cinco veces, y tomar su promedio, aunque regularmente nunca discrepaban de un quarto de segundo.

Para el uso de las señales, es asunto indiferente el hacerlas en tierra y atenderlas á bordo, ó al contrario, y esta eleccion deberá adaptarse á las circunstancias de la posicion del Observatorio y buque. Sin embargo, en ambas ocasiones conviene y es cómodo, contar el minuto justo al instante de las señales donde se tire el pistoletazo.

Al-

490 Algunas veces es tambien útil y aún preciso, substituir á uno de los dos reloxes de comparacion uno de faltriquera de segundos, que, comparado ántes y despues, pueda transportarse al parage de donde sea mas facil hacer ó advertir las señales: y en el último caso son inútiles los tiros de pistola.

491 Esta comparacion hecha al medio dia es ciertamente la mas natural y breve, pero no necesaria; y asi, algunas veces, las causas accesorias ó la comodidad de los observadores podrán hacer preferible otra hora. En este caso, la atencion á la hora elegida, y al movimiento relativo de los reloxes, ó del Péndulo y relox, bastará para reducir la comparacion al medio dia verdadero.

492 Las alturas correspondientes, aunque no sean del mismo dia, pueden servir tambien para deducir el instante del pasage del Sol por el meridiano: y este recurso es conveniente, quando las nubes por la tarde impiden las observaciones. Se ocurre, que el semi-intervälo pasado entre las alturas dará el medio dia ó media noche del relox ó Péndulo, correspondiente al dia intermedio: y que este podrá corregirse por el método ordinario. Pero como, en el intervälo de algunos dias, la variacion de la declinacion del Sol resulta demasiado considerable, en este caso será preciso calcular rigorosamen-

mente el ángulo de la semidiferencia de los horarios, con las declinaciones de las dos épocas (Princ. Astronom. 228).

493 Las alturas iguales observadas en diferentes dias, aunque no sean correspondientes, pueden tambien servir para determinar el movimiento del relox: y este recurso es ventajoso en los climas ó estaciones que impiden observar por la mañana ó por la tarde. Este método se reduce, á calcular para las dos épocas en que se ha observado, á qué hora de la mañana ó tarde, el Sol, cuya declinacion es conocida, ha de llegar á una misma altura, esto es, á calcular el ángulo horario en ambos casos (P. A. 171). Si la diferencia entre los tiempos hallados por el Sol en las dos épocas, no es igual á la de los indicados por el relox, la cantidad en que difieran será el adelantamiento ú atraso del movimiento del relox respecto al del Sol en el intervalo de las observaciones; y por este dato podrá inferirse su relacion directa con el tiempo medio.

494 El método de las alturas iguales, aunque sin duda el mas exâcto, no es tampoco indispensable ni único, y segun las circunstancias podrán substituirsele otros diversos, para determinar el estado y movimiento del relox respecto al tiempo medio. Entre ellos, nos ceñirémos á indicar los tres si-

siguientes, que nos parecen preferibles.

495 El primero es el de las alturas absolutas. Estas alturas no difieren esencialmente de las correspondientes: y en efecto, toda altura correspondiente puede mirarse como absoluta, si de ella se deduce un horario. La aplicacion, sin embargo, no es la misma; pues en las alturas, tomadas con un Quarto de círculo y consideradas como únicas, es necesario atender á las correcciones de refraccion, paralaxe, semidiámetro y excentricidad del anteojo, que son superfluas, quando se usan las correspondientes. Y se vé, que determinada, por la altura absoluta, la hora verdadera, y aplicándole la equacion del tiempo, será facil deducir la actual relacion entre el relox y el tiempo medio: y, por una série de comparaciones, su movimiento y estado relativo al meridiano en que se halla.

496 Los medios dias verdaderos en el relox, determinados por las observaciones de los pasages del Sol por el meridiano, darán facilmente el mismo resultado. Este método es tambien bastante exâcto, practicándolo con la delicadeza necesaria; pero su exâctitud requiere sobre todo, que el Anteojo meridiano, Quarto de círculo ú otro instrumento que se use, sean bien sólidos y estén perfectamente situados.

497 El tercer método, que es simple, facil y seguro, consiste en observar el instante en que una estrella aparece ó se oculta en una pared ú otro término fixo, ó, lo que es mejor, en un punto determinado de un anteojo dispuesto á este propósito: como, por exemplo, el instante en que entra en el campo, ó mas bien la hora en que desaparece despues de haberlo corrido, ó la ocultacion en uno de los hilos del Retículo. Al cabo de $23^{h}\ 56'\ 4'',1$, la estrella se hallará en el mismo punto (P. A. 221); y asi, notando el instante del regreso, se verá la diferencia de aquel intervålo al indicado en el relox; y por ella se deducirá facilmente lo que atrasa ó adelanta respecto al tiempo medio. Para obtener mas exâctitud, esta comparacion podrá extenderse á muchos dias: y de este modo, el efecto de qualquier error de observacion, quedará casi nulo ó muy disminuido en el resultado.

La exâctitud de este método depende, sobre todo, de la estabilidad del anteojo ó término de comparacion: y, para contribuir á ella, convendrá elegir alguna estrella en el equador ó próxîma. Esta circustancia es mas precisa, quando el intervålo es de muchos dias; porque asi, el efecto de la aberracion que altera el lugar aparente de la estrella puede mas bien despreciarse. De la nutacion podría

re-

recelarse la misma diferencia contra la precision del método; pero en el interválo á que puede extenderse la comparacion, se percibe desde luego, que su efecto es insensible.

498 Volviendo ahora á las particularidades de nuestro exemplo, veamos el modo de proceder á la comparacion final del relox al tiempo medio.

Para esta operacion, además de los cálculos auxîliares explicados, es necesario atender á los efectos del temperamento, particularmente en los reloxes grandes. En el relox num. 10 (cuya tabla de estas correcciones relativas al Termómetro de Reaumur, trabajada por su autor, presentamos, para dár idéa de su uso) claro está, que, si en el dia 19 de Junio en que principió la comparacion era el temperamento en el parage del relox de 18,5, el dia 20 de 17,5, el dia 21 de 17,5, y el 22 de 19,0, el atraso del num. 10 al tiempo medio en los tres dias del 19 al 22, por el efecto del temperamento, será igual á la suma de las diferencias diarias correspondientes á estas graduaciones del Termómetro, segun la misma tabla. El dia 20 al medio dia, el relox por esta causa habia atrasado al tiempo medio 1″,95, cantidad proporcional entre las equaciones correspondientes al temperamento de los dias 19 y 20 (vease la nota al diario del relox

en los cálculos del exemplo). El atraso para el medio dia del 21 fue de 2″,10, y para el del 22 de 1″,85; y sumando las tres diferencias resultará, que del 19 al 22 de Mayo el relox atrasó al tiempo medio 5″,90: cantidad que, deberá agregarse á la hora del relox de aquel dia, para compararlo al tiempo medio.

499 Pero es de advertir, que, como la variacion que padece el temperamento es con freqüencia muy considerable, aún en el termino del mismo dia, deberá atenderse con cuidado al estado y mutaciones del calor: y apuntar en estas ocasiones la graduacion del Termómetro á cortos intervalos, como de dos en dos ó de quatro en quatro horas, para averiguar con mas exâctitud la total alteracion ocurrida al relox en las 24 horas. Sin esta atencion, la correccion podría ser errónea.

500 Ya con el efecto del temperamento, pueden considerarse averiguados todos los elementos para la comparacion diaria del relox. Por las alturas correspondientes, y su equacion, se ha determinado el medio dia verdadero en el Péndulo: la comparacion del Péndulo al relox ha dado el medio dia verdadero en este: hallado el tiempo medio del mismo instante, por la reduccion de comparaciones, se ha sacado lo que el relox adelanta al tiempo medio á

las

las 12 de los dias 19 y 22: y finalmente, como el movimiento real del relox ha de resultar averiguado por la sucesiva comparacion de varios medios dias, se ha buscado el efecto del temperamento, para despejar el adelanto ó atraso del relox respecto al tiempo medio que debe ser constante, del adelanto ó atraso variable que puede proceder de aquella causa.

501 Por exemplo: si en los dias 19 y 22 de Mayo, por el arreglo de los medios dias en el Péndulo, se determináron los instantes de los medios dias medios en el relox, la diferencia de horas que resulta de un medio dia á otro, dividida por el número tres de los dias del intervalo entre las observaciones, dará lo que adelanta ú atrasa el relox diariamente al tiempo medio. Pero, si el mismo relox en este intervalo atrasó al tiempo medio de alguna cantidad por los efectos variables del temperamento, no tiene duda, que la determinacion del atraso ó adelanto del relox solo podrá averiguarse, separando del resultado de los dos medios dias medios, la equacion correspondiente á los diferentes grados del temperamento occurridos en el intervalo.

502 Considerando el objeto de estas comparaciones, se vé, que quanto mas dilatada sea su série, para determinar el movimiento del relox, tanto mas

se-

seguro será su resultado. Pero en este caso, como en todas las demás cosas concernientes al manejo de máquinas tan útiles como delicadas, deben aumentarse ó pueden omitirse las escrupulosidades, segun el conocimiento particular que se tenga de la que se use. Si, exâminando el movimiento de un relox por el espacio de 60 dias con diferentes grados de temperamento, se encuentra uniforme el resultado de todas las comparaciones, es claro, que podrá fiarse durante el mismo interválo, á ménos que alguna causa inopinada lo haga por otra parte sospechoso. Pero, si la comparacion ha durado pocos dias, sería sin duda imprudente abandonarse á los resultados del relox en una travesía algo considerable. Asi, el pulso, la madurez y la constancia en el principio, el tiempo en lo sucesivo, y la reflexîon siempre, deberán únicamente decidir de la mayor ó menor confianza que pueda depositarse en estas máquinas.

503 De todos modos, en un exâmen de 20 ó 30 dias es cómodo y útil, verificar las comparaciones con interválos de dos, tres y quatro dias. Los cortos inevitables errores de las observaciones y temperamento se reemplazan, y qualquier defecto en el movimiento diario del relox resulta mas visible con el aumento del interválo. Por esta razon,



zon, en el exemplo que producimos, y en el qual se dexaron expresamente los vacíos que se advierten, puede notarse, que con mucha mas comodidad y no ménos exâctitud se reduxo á seis la comparacion de diez y nueve dias.

504 Explicado ya por menor lo hecho en el dia 19, nada hay que decir sobre lo que sigue de los dias 22, 25, y 28 de Mayo, 1° y 6 de Junio, que por mayor claridad, y para recomendar la costumbre de apuntar en el diario todos los elementos, comprehendemos en el exemplo. Solo si, el grado del Termómetro es el que debe observarse diariamente; pues de él depende una importante correccion, cuya cantidad varía como hemos notado (499), y puede verse en la tabla.

505 Comparado, pues, el relox al Sol en un regular intervalo proporcionado á las circunstancias, no queda mas que reducir las comparaciones, para inferir la cantidad diaria de adelanto ó atraso del relox respecto al tiempo medio, y su estado ó relacion absoluta en un instante dado, como el dia en que se cierran las comparaciones. Esta cantidad de atraso ó adelanto absoluto del relox respecto al tiempo medio del lugar en que se halla, es necesaria para seguir despues su cuenta, y por medio del movimiento averiguado saber la hora que es á qual-

quier

quier instante en un meridiano conocido. Pero, ántes de llegar á este resultado, convendrá que nos extendámos aún sobre los efectos del temperamento, y su uso en las comparaciones que entran en el resumen.

506 El uso de la correccion del temperamento exîge, que se atienda á su especie y á la de la cantidad á que se aplica; pero, considerando el objeto de las operaciones, no podrá titubearse sobre lo que convenga practicar en qualquier caso. Por exemplo: el dia 19 de Mayo, por la reduccion de comparaciones, resultó medio dia medio en el relox á $12^h\ 16'\ 26'',37$: y el dia 22, en que se hizo nueva comparacion, resultó medio dia medio en el relox á $12^h\ 17'\ 14'',87$. Por consiguiente, la diferencia del movimiento del relox al tiempo medio, fué adelantar el primero $48'',50$; pero como en este resultado están envueltos los efectos del temperamento, se vé, que, para tener el movimiento natural del relox, será preciso despejarlos por medio de las correspondientes correcciones. Asi, si atendiendo á los grados del Termómetro, el relox segun indica la tabla debió atrasar $5'',90$ del 19 al 22, claro está, que el movimiento del relox, durante el mismo interválo, hubiera adelantado al tiempo medio los $48'',50$ que manifiestan las observaciones

mas

mas los $5'',90$ de la irregularidad procedente del temperamento.

Finalmente sirva para la posible claridad : que, si del movimiento del relox fuera á deducirse el tiempo medio, como del tiempo medio deducimos aqui el movimiento del relox, debería considerarse, que, adelantando el relox $18'',13$ diariamente, en tres dias adelantaria $54'',40$; pero que, como en este adelanto se supone el efecto del temperamento nulo, siempre que hubiese por aquella causa un atraso de $5'',90$, en los tres dias el adelanto verdadero del relox al tiempo medio solo habría sido de $48'',50$. Por donde, suponiendo el medio dia medio en Cádiz el dia 19 á $12^h\ 16'\ 26'',37$ del relox, el dia 22 resultará á $12^h\ 17'\ 14'',87$.

507 Este raciocinio, inverso del que se hace en la comparacion, es el que sirve para la sucesiva deduccion de longitudes. En la comparacion, de que tratamos, por los medios dias observados se infiere el movimiento regular del relox, y por consiguiente se le despejan los efectos del temperamento. Al contrario, quando, por el movimiento determinado del relox, se vá á inferir el tiempo medio en un meridiano conocido, al resultado de aquel movimiento deben aplicarse las alteraciones diarias del temperamento.

508 Ya con estos antecedentes, podrá comprehenderse á primera vista la tabla que incluye el resumen de las comparaciones: y adaptándola por principios á las diferentes calidades de los reloxes, y á su relacion actual con el tiempo medio del meridiano en que se hallan, deducir los elementos necesarios para alcanzar el objeto final de las máquinas y de todas las operaciones. Sabiendo, que el dia 6 de Junio al medio dia el num. 10 estaba 21′ 38″,44 adelantado al tiempo medio de Cádiz, y que diariamente adelanta 18″,93 ménos lo que puedan atrasarle las impresiones del temperamento, será fácil averiguar por medio del relox á qualquier tiempo, que hora media, ó, con la equacion del tiempo, que hora verdadera es en Cádiz en el instante en qué se observe la hora de un meridiano diferente.

509 Para llevar una cuenta diaria que facilite las operaciones, conviene formar una tabla como la que comprehendemos en el exemplo: la qual, con mayor facilidad y ménos riesgo de equivocaciones, subministra la correccion total que debe aplicarse á la hora que indica el relox, para tener la verdadera que se cuenta en el meridiano de comparacion á qualquier instante dado.

510 La hora á bordo puede determinarse por

la

la altura de qualquier astro (P. A. 171); pero siempre convendrá tomar varias alturas, y calcular por cada una el correspondiente horario, para tomar despues el medio. La deduccion de los datos para los diferentes horarios, suponiendo constantes la declinacion y latitud, y solo variables las alturas, es mucho mas cómoda, usando las semidiferencias aditivas á la diferencia entre la semisuma de los tres lados y el adyacente al ángulo quando el astro se aleja, y substractivas quando se aproxîma al meridiano.

511 Tambien es de advertir, que, mientras el observador mide la altura, se supone que haya un asistente que le cuente los segundos del relox: y que si la necesidad los separase á los extremos del buque, uno intermedio oiga al que cuenta y al que señala el instante de la altura. De este modo, que dexa faciles de determinar hasta los medios segundos, podrán apuntarse las alturas del astro con los instantes del relox en que se observáron, segun se vé en los elementos del exemplo.

512 Adoptada la hora media entre las que resultan de todas las alturas observadas, solo queda que compararla á la verdadera del primer meridiano, deducida por el relox como ya hemos indicado; y la diferencia, convertida en grados, expresará la

longitud de la nave, para el mismo instante. Veasè el exemplo.

513 El mètodo del exemplo que incluimos es el mas exâcto; pero se hecha de ver, que no es único, y que, sin los auxîlios supuestos de un Observatorio, podrá averiguarse el estado y movimiento del relox aún mas sencillamente. Sobre lo qual, solo apuntarèmos las siguientes particularidades.

514 El Pèndulo intermedio puede ahorrarse, manteniendo el relox en tierra, y comparándolo al Sol inmediatamente. Y executada esta operacion, si el relox marino es de los grandes, deberá pararse ántes de embarcarlo, y restituirle su movimiento despues de establecido á bordo, notando en una buena muestra de faltriquera la diferencia acaecida en su anterior estado. Pero como la suspension puede producir algun desarreglo en el primer movimiento averiguado, este mètodo nunca puede ser de bastante confianza en aquella especie de reloxes, y solo deberá usarse en los pequeños.

515 El Quarto de círculo no es tampoco indispensable, y el Quadrante de reflexîon puede substituirsele. Este es tambien el mètodo á que, con un relox de faltriquera, se halla el comun de los Navegantes casi reducido en las actuales circunstancias,

cias, y por tanto pide que nos explayémos algo mas para aclararlo.

516 Los reloxes de longitud de fraltriquera pueden, sin recelo de alteracion, conducirse de un parage á otro, con tal que no lleven golpes ó sacudidas violentas; y asi, aún quando en el puerto de la salida la inmediacion de la tierra ó de otras embarcaciones imposibilite la vista del horizonte para tomar alturas desde el mismo buque, es facil separarse algo de todos los estorbos en un bote: y conduciendo consigo el mismo relox en los dias placenteros, inferir su movimiento por medio de las alturas del Sol absolutas ó correspondientes, tomadas con el Quadrante de reflexîon. En este caso, siempre que se pueda, á un bote entregado á todos los efectos del oleage, es preferible la posicion en algun parage terrestre inmediato á la orilla despejado y sólido. Pero de todos modos, una Aguja portatil, con la combinacion de los principios mas simples de Cosmografía, determinarán facilmente la eleccion del parage en tierra ó la posicion del bote: el qual para las alturas correspondientes, podrá, por enfilaciones y un rezon, volverse á encontrar y mantener quando convenga.

517 Una comparacion de quince ó veinte dias, hecha con intervalos de tres ó quatro, parece

ce suficiente para el uso de la Navegacion. El dia, pues, en que se haya de hacer comparacion, elegido siempre entre los que proporcionen la mar mas tranquila y el horizonte mas limpio, se procurará con el posible cuidado que el Quadrante no padezca alteraciones de la mañana á la tarde; pues las alturas tomadas asi como correspondientes podrían producir errores de mucha conseqüencia. Asi, ántes y despues de qualquiera observacion, deberá verificarse el instrumento, para ver si ha contraido algun error: y si el encaxonarlo ó conducirlo hubiese variado la situacion de los espejos, será preciso volver á ponerlos en el estado de la mañana, sea ó no defectuoso.

518 No será fuera del caso, exâminar el movimiento del relox por las alturas absolutas y por las correspondientes. El uso de diferentes métodos sirve para afianzar la exâctitud de los cálculos y de las observaciones: ambos requisitos indispensables para un buen resultado. El objeto de las operaciones, repitámoslo aún, es comparar el relox al tiempo medio repetidamente, lo que podrá hacerse con facilidad de muchos modos: y el resumen final merecerá tanta mas confianza, quanto mayor sea la prolixidad del Piloto ántes de llegar á la última conseqüencia.

Pe-

519 Pero por mas perfecto que sea el método empleado, y por mas exâcto que parezca su resultado, nunca podrá concluirse ni deberá esperarse que el movimiento del relox permanezca constante largo tiempo; y por conseqüencia, será conveniente aprovechar y aún buscar en los viages todas las ocasiones posibles de exâminarlo. A este fin, aún sin dar fondo, serán utilísimas las marcaciones á puntos de tierra conocidos, deduciendo la diferencia ocurrida en el estado ó movimiento del relox, para emplear despues las correcciones resultantes, ó con mas confianza, si son nulas, los primeros elementos.

520 Para la exâctitud de los resultados contribuirá tambien un segundo relox marino, de que aún no hemos hecho mencion, cuyo embarque será útil en toda travesía, y casi necesario, quando se trate de situar las costas en sus verdaderas posiciones.

521 El exâmen del segundo relox es facilísimo, refiriendo su movimiento al primero, como se hizo con éste y el Péndulo: y de las comparaciones de los dos reloxes resultará visible en la campaña qualquiera irregularidad en uno ú otro, que sin esta precaucion regularmente no se advertiría.

522 Lo dicho hasta aqui parece suficiente pa-

para dár á entender el método de determinar el movimiento de los reloxes marinos y sus usos en la direccion de los viages. Pero como la perfeccion de estas máquinas ha abierto un vasto campo para acelerar con poco trabajo los progresos de la Geografía, indicarémos aún algunas especies que solo tienen su utilidad en este ramo.

523 La diferencia de la longitud dada por el relox á un meridiano conocido sirve en las navegaciones, para corregir en la sucesiva cuenta el estado ó movimiento deducido ántes; pero, quando estos elementos han servido tambien para determinar las longitudes de puntos desconocidos, es preciso atender en ellas á la parte que puede tocarles de las alteraciones observadas. Mas aqui se ofrece inmediatamente una duda sobre el modo de aplicar estas correcciones, y esta duda es bien dificil de resolver, pues lo es el asignar la série de efectos particulares que formáron el total y único que se conoce.

524 Suponiendo, por exemplo, que de resultas de una marcacion se halló que el estado del relox, esto es, su atraso ó adelanto absoluto, habia variado de una cierta cantidad, tal vez parecería á primera vista que el repartir la diferencia en el número total de los dias que duró la cuenta, y corregir retrogradamente las correcciones totales del diario,

río, y por ellas las longitudes determinadas, sería lo mas natural y justo. Pero á la verdad, fuera un absurdo imperdonable al Piloto reflexîvo el prescribir ó adoptar sin excepciones esta regla ú otra qualesquiera. Si un relox ha estado dando pruebas de su bondad por largo tiempo, y se ha notado en algun día causa extraordinaria de temperamento ó agitacion en la embarcacion, es probable, que, lejos de remontár á los primeros dias, debe fixarse en aquel la alteracion del movimiento, y aún variar ú omitir la proporcion, segun el mayor ó menor trastorno que se juzgue competente á la naturaleza de la causa. Vease, pues, un caso donde fallaría qualquiera ley prescripta, y en él una prueba, de que el solo tino y prolixidad del observador, podrán tal vez guiar á la correccion proporcional que convenga á las circunstancias.

525 Si tal accidente extraordinario no ha ocurrido, es claro, que, por faltar razon de preferencia, es necesario repartir el error ó diferencia en todos los dias que duró la cuenta. Pero en este caso puede preguntarse ¿quál es, pues, la ley que debe asignarse á la progresion de las variaciones hasta la observada? Este es otro tropiezo que no puede allanarse, y qualquiera ley con que se decida la qüestion es puramente arbitraria. Asi, algunos observadores dividen el error en partes iguales, segun

el número de dias, y otros hacen sus progresiones aritméticas proporcionales á los tiempos.

526 La última suposicion parece mas razonable: y segun ella, si hacemos $z=$ al error del primer dia, $n=$ al número de dias pasados, y $d=$ á la diferencia observada en el estado del relox, será

$$d=\frac{n}{2}(nz+z).$$ Por donde, conocido d, se tendrá facilmente z; y con este dato, substituyendo en la misma equacion en lugar de n el número de dias que convenga, resultará el error del primer estado del relox para el dia que se quiera.

527 Pero, si, además del estado absoluto, la vista ó mansion en un punto bien establecido ántes hizo conocer la verdadera variacion actual del movimiento del relox, el método adoptado, como todos los que pudieran elegirse, precisamente acarrea otra dificultad, no ménos capáz de producir perplexîdades. Determinada la série regular de las variaciones progresivas, de la diferencia del estado del relox resulta la que conviene al dia en que se verifica su movimiento; y asi, si esta cantidad observada no se conforma con la calculada, la discrepancia demostrará, que la suposicion hecha es errónea, y será imposible atinar con la que debe adoptarse para la correccion de las longitudes anteriores. Este es

EXEMPLO DEL EXAMEN DEL MOVIMIENTO DEL RELOX EN EL REAL OBSERVATORIO DE CADIZ.

Latitud 36° 31′ 15″. Long. 0^h 34′ 32″ al O de Paris.

DIA 19 DE MAYO DE 1785.

Distancias al zenit.	Horas de la mañana.	Horas de la tarde.	Med. dias no correg.
53°...... 50′	8^h... 7′... 57″	4^h... 5′... 50,″75	12^h... 6′... 53,″87
53...... 40	8... 8... 45	4... 5... 00, 50	12... 6... 52, 75
53...... 30	8... 9... 35	4... 4... 11	12... 6... 53
53...... 20	8... 10... 24	4... 3... 21	12... 6... 52, 50
Medio dia por las alturas correspondientes.............			12... 6... 53, 03

Equacion de las alturas por la fórmula diferencial (P. A. 232.).

Elementos.

Semi-interv. medio entre los quatro.. 3^h 57′ 42,″78, en grados...	59° 25′ 41,″70
Declinacion del Sol al medio dia verdadero en Cádiz........	19 55 8, 20
Variac. de la declinacion del Sol en el semi-interv. medio.......	2 5, 31
Distancia del polo al zenit de Cádiz......................	53 28 45

Cálculo del segundo y tercer elemento.

Declinac. del Sol tomada en el Conocim. de los tiempos.		Variac. diarias.
Mayo 18 á medio dia.....................	19° 42′ 02″	
		12′ 48″
Id. 19..............................	19 54 50	
		12 30
Id. 20..............................	20 07 20	
Variacion media..................................		12 39

24^h : 12′ 39″ = 34′ 32″ : x

Variacion en 34′ 32″......................... x =	18, 20
Declinacion á medio dia del 19.....................	19 54 50
Declinacion á medio dia del 19 en Cádiz...............	19 55 08, 20

24^h : 12′ 39″ = 3^h 57′ 42,″78 : x

Variac. de la declinac. en el semi-interv. medio...... x = 2′ 5,″ 30

Cálculo de la primera parte de la equacion.

$$\frac{\frac{1}{2}\text{ variac. decl.}}{15} \times \frac{\text{tang. latitud}}{\text{sen. ang. horar.}}$$

$\frac{1}{2}$ Variacion declin. = 125,30......	Logarithmo.................	2,0979390
15...........................	Compl. aritm. logarith........	8,8239087
Tangente lat. 36° 31′ 15″......	Logarithmo.................	9,8695391
Seno ang. hor. 59° 25′ 41,″ 70...	Complem. aritm. logar........	0,0650004
Prim. parte en seg. substract. 7,184.	Log. mén. el duplo del del radio.	0,8563872

Cálculo de la segunda parte.

$$\frac{\frac{1}{2}\text{ variac. decl.}}{15} \times \frac{\text{tang. declinacion}}{\text{tang. ang. horario}}$$

$\frac{1}{2}$ Variacion declin. = 125,″30.....	Logarithmo.................	2,0979390
15...........................	Complem. aritm. logar........	8,8239087
Tang. decl. 19° 55′ 8,″20.......	Logarithmo.................	9,5591510
Tang. ang. hor. 59° 25′ 41,″ 70...	Complem. aritm. log.........	9,7713912
Seg. parte en segund. aditiva 1,788.	Log. mén. el triple del del radio..	0,2523899

Equacion total substractiva................	−7,18 + 1,79	5, 39
Medio dia por las alturas no corregido.................		12^h 6′ 53,″ 03
Luego medio dia verdadero en el péndulo á		12 6 47, 64

Comparaciones por señal. hechas á bordo, y atend. desde el Observat.

Horas del péndulo.	Horas del núm. 10.	Adelantos del n. 10 al pénd.
11^h... 59′... 15″	12^h...... 5′..... 00″	0^h..... 5′.... 45″
12... 00... 15	12...... 6..... 00	0..... 5.... 45
12... 1... 15	12...... 7..... 00	0..... 5.... 45
12... 2... 15	12...... 8..... 00	0..... 5.... 45
Adelanto medio........................		0..... 5.... 45

Cálculo de la hora media al instante del medio dia verdadero.

Por el Conocimiento de los tiempos la equacion del tiempo, substractiva al verdadero, disminuye de 3″ en 24^h desde el 19 al 20 de Mayo.

$24^h : 3'' = 34,'53 : x$

Variacion de la equacion del tiempo en 34,′53...... x = +			00,″07
Hora media al instante del medio dia verdadero en Paris......	11^h	56′	6, 20
Luego hora media al instante del medio dia verd. en Cádiz...	11	56	6, 27

Reduccion de las comparaciones.

Medio dia verdadero en el péndulo....................	12^h	6′	47,″64
El núm. 10 adelanta al péndulo....................		5	45
Medio dia verdadero en el núm. 10....................	12	12	32, 64
Tiempo medio en Cádiz al mismo instante..............	11	56	6, 27
Luego el núm. 10 adelanta al tiempo medio............		16	26, 37

DIA 22 DE MAYO.

Cantidad media de los medios dias no corregidos.........	12^h	6′	51,″67

Equacion de las alturas por las tablas publicadas en Madrid en 1779.

Semi-intervalo medio..............................	2^h	58′	58,″36

	Primera tabla. Semi-interv. 2^h 40′	Semi-interv. 3^h	*Segunda tabla.*	
Mayo 21......	2,″38	2,″25	8,″45	8,″64
31......	1, 80	1, 70	5, 83	5, 96
Difer. en 10 dias..	58	55	2, 62	2, 68
Proporc. á un dia.	6	5	26	27
Mayo 22......	2, 32	2, 20	8, 19	8, 37

Difer. en 20 minutos.... 0,″12		0,″18
Proporcion. á 0^h 18′ 58″.. 0, 11		0, 17
Mayo 22 semi-int. 2^h 58′ 58,″36	+ 2,21	8,″36
Resultado de la segunda parte......	− 6,19	Mult. por tang. lat. 36° 31′.. 0, 74
Equacion total.................	− 3,98	Resulta............. 6,″1864

Medio dia por las alturas..........................	12^h	6′	51,″67
Medio dia verdadero en el péndulo..................	12	6	47, 69
El núm. 10 adelanta al péndulo.....................		6	44, 09
Medio dia verdadero en el núm. 10..................	12	13	31, 78
Tiempo medio al mismo instante.....................	11	56	16, 91
Adelanta el núm. 10 al tiempo medio................	0	17	14, 87

Tabla de los efectos del temperam. en el n. 10, hecha por su mismo autor Mr. Berthoud.

Grad. del Termómetro de Reamur.	Atrasos correspondient. del núm. 10.
8	.... 4,″00
9	.... 3, 80
10	.... 3, 60
11	.... 3, 40
12	.... 3, 20
13	.... 3, 00
14	.... 2, 80
15	.... 2, 60
16	.... 2, 40
17	.... 2, 20
18	.... 2, 00
19	.... 1, 60
20	.... 1, 20
21	.... 0, 90
22	.... 0, 60
23	.... 0, 30
24	.... 0, 00
25	.... 0, 00

Estado medio del Termómetro en los dias que se expresan. / Correcciones correspondientes.

Dias.	Termómet.	Correcc. diaria.	Correcc. periód.
MAYO 19 ..	.. 18,5		
		... 1,″95	
20 ..	.. 17,5		
		... 2, 10	
21 ..	.. 17,5		
		... 1, 85	
22 ..	.. 19,0....	....	... 5,″90
		... 1, 60	
23 ..	.. 19,0		
		... 1, 54	
24 ..	.. 19,3		
		... 1, 27	
25 ..	.. 20,5....	....	... 4, 41
		... 1, 05	
26 ..	.. 20,5		
		... 1, 17	
27 ..	.. 20,0		
		... 1, 20	
28 ..	.. 20,0....	....	... 3, 42
		... 1, 52	
29 ..	.. 18,4		
		... 1, 99	
30 ..	.. 17,3		
		... 2, 07	
31 ..	.. 18,0		
		... 1, 90	
JUNIO 1 ..	.. 18,5....	....	... 7, 48
		... 1, 86	
2 ..	.. 18,2		
		... 1, 88	
3 ..	.. 18,4		
		... 1, 92	
4 ..	.. 18,0		
		... 1, 58	
5 ..	.. 19,6		
		... 1, 20	
6 ..	.. 20,5....	....	... 8, 44

Resumen de las comparaciones para deducir el movimiento diario del número 10.

Dias de las comparaciones.	Fué medio dia med. en el núm. 10.	Número de dias entre las comparaciones.	Difer. del n. 10 al tiempo m. en cada época.	Correcc. periódicas por el efecto del temper.	Resultan las diferencias totales.	Corresponde á cada dia.
MAYO... 19	... 0^h 16′ 26,″ 37					
		.... 3	..... 48,″50	....+ 5,″90	.... 0′ 54,″40	.... 18,″13
22	... 0 17 14, 87					
		.... 3	..... 49, 37	..... 4, 41	.... 0 53, 78	.... 17, 93
25	... 0 18 4, 24					
		.... 3	..... 56, 19	..... 3, 42	.... 0 59, 61	.... 19, 87
28	... 0 19 00, 43					
		.... 4	... 1′ 11, 18	..... 7, 48	.... 1 18, 66	.... 19, 66
JUNIO... 1	... 0 20 11, 61					
		.... 5	... 1 26, 83	..... 8, 44	.... 1 35, 27	.... 19, 05
6	... 0 21 38, 44					
					Adelanto diario medio......	18,93

DIARIO DEL RELOX NÚM. 10.

Las equaciones están con los signos convenientes para reducir la aparente del relox á hora verdadera.

1. Dias de Junio.	2. Estado medio del Termómetro.	3. Equacion diaria por el temperam.	4. Equacion por el temperamento.	5. Equac. const. del estado del relox resp. al tiempo med. de Cádiz el dia 6.	6. Equacion del adelanto diario del relox al tiempo medio.	7. Equacion del tiempo.	8. Equacion total.	9. Diferencias diarias.
6	.... 20,5	....	....	— 21′ 38,″ 44 ..	....	.+ 1′ 44,″ 94 ..	— 19′ 53,″ 50 ..	... 0′ 28,″ 93
7	.... 20,7	.... 1,″02	..+ 1,″02	.. 21 38, 44 ..	.— 0′ 18,″93 ..	... 1 33, 94 ..	.. 20 22, 43 ..	... 0 29, 29
8	.... 21,0	.... 0, 94	.... 1, 96	.. 21 38, 44 ..	... 0 37, 86 ..	... 1 22, 62 ..	.. 20 51, 72 ..	... 0 29, 53
9	.... 21,0	.... 0, 90	.... 2, 86	.. 21 38, 44 ..	... 0 56, 79 ..	... 1 11, 12 ..	.. 21 21, 25 ..	... 0 29, 94
10	.... 21,8	.... 0, 78	.... 3, 64	.. 21 38, 44 ..	... 1 15, 72 ..	... 0 59, 31 ..	.. 21 51, 19 ..	... 0 30, 30
11	.... 22,5	.... 0, 55	.... 4, 19	.. 21 38, 44 ..	... 1 34, 65 ..	... 0 47, 41 ..	.. 22 21, 49 ..	... 0 30, 61
12	.... 22,0	.... 0, 52	.... 4, 71	.. 21 38, 44 ..	... 1 53, 58 ..	... 0 35, 21 ..	.. 22 52, 10 ..	... 0 30, 74
13	.... 22,2	.... 0, 57	.... 5, 28	.. 21 38, 44 ..	... 2 12, 51 ..	... 0 22, 90 ..	.. 23 22, 84 ..	... 0 30, 87
14	.... 22,5	.... 0, 49	.... 5, 77	.. 21 38, 44 ..	... 2 31, 44 ..	... 0 10, 40 ..	.. 23 53, 71 ..	... 0 31, 30
15	.... 20,6	.... 0, 73	.... 6, 50	.. 21 38, 44 ..	... 2 50, 37 ..	— 0 2, 30 ..	.. 24 25, 01 ..	

NOTA. En las equaciones del temperamento se ha adoptado la media entre las que corresponden á las graduaciones del mismo dia y del anterior. Por exemplo: en el dia 7 la cantidad 1,″02 es media entre 0,″99, equacion correspondiente á 20°,7 del Termómetro, y 1,″05, que corresponde á 20°,5 del mismo Termómetro.

EXEMPLO DEL CÁLCULO DE LA LONGITUD POR EL RELOX.

DIA 10 DE JUNIO DE 1785 POR LA TARDE.

Elementos.

Horas en el núm. 10.	Alturas del Sol.	Diferenc. de las alturas.	Semidiferencias.	Correcciones de las alturas.	1.ª dist. verdad. del Sol al zenit.
$4^h\ 35'\ 39''$	$34^\circ\ 10'$	12' 00''	1.ª 6' 00''	Depres. − 4' 00''	
4 36 35	33 58	16 00	2.ª 8 00	Semid. + 15 48	$55^\circ\ 39'\ 27''$
4 37 59	33 42	11 00	3.ª 5 30	Refracc. − 1 23	
4 38 50	33 31			Paralax. + 0 8	

Datos para los horarios.

Complemento latitud...	53°	27'	00''	N
Complem. declinacion...	66	54	24	M
Compl. alt. del Sol....	55	39	27	
Suma.............	176	00	51	
Semisuma..........	88	00	25	
Semis. ménos compl. latit.	34	33	25	A'
Primera semidiferencia..		6		
Suma.............	34	39	25	B'
Segunda semidiferencia..		8		
Suma.............	34	47	25	C'
Tercera semidiferencia..		5	30	
Suma.............	34	52	55	D'
Semis. ménos compl. decl.	21	6	1	A
Primera semidiferencia..		6		
Suma.............	21	12	1	B
Segunda semidiferencia..		8		
Suma.............	21	20	1	C
Tercera semidiferencia..		5	30	
Suma.............	21	25	31	D

Cálculo de la declinacion.

Hora media en el relox..	$4^h\ 37'\ 15,''\ 75$
Equacion del relox á medio dia........ −	21 51, 19
$24^h : 30,''30 = 4^h\ 37'\frac{1}{4} : x$	
Incremento de la equacion en $4^h\ 37'\frac{1}{4}$....	5, 83
Hora verdadera en Cádiz.	4 15 18, 73
Cádiz occid. de Paris....	34 32
Hora en Paris........	4 49 50, 73
Variacion de la declinacion del 10 al 11....	4 9
$24^h : 4'\ 9'' = 4^h\ 50' : x$	
Variac. proporcion. $x = +$	50''
Declinac. á m. dia del 10.	23^h 4' 46
Declin. á la hora de la obs.	23 5 36
Su complemento......	66 54 24

Cálculo de los horarios, y deduccion de la longitud.

	1.	2.	3.	4.
Compl.arit.log. seno N const.	... 0,0951020	... 0,0951020	... 0,0951020	... 0,0951020
Compl.arit.log. seno M const.	... 0,0362749	... 0,0362749	... 0,0362749	... 0,0362749
Logar. seno...	A.' 9,7537554	B.' 9,7548538	C.' 9,7563121	D.' 9,7573105
Logar. seno...	A.. 9,5563091	B.. 9,5582633	C.. 9,5608600	D.. 9,5626349
Suma........	19,4414414	19,4444940	19,4485490	19,4513223
Semis. log.seno.	a... 9,7207207	b.. 9,7222470	c.. 9,7242745	d... 9,7256612
Mitad del ángulo horario..	$a = 31^\circ 42'\ 50''$	$b = 31^\circ\ 50'\ 19''$	$c = 32^\circ\ 00'\ 19''$	$d = 32^\circ\ 07'\ 12''$
	8	8	8	8
Áng.h. en tiemp.	$4^h\ 13'\ 42''\ 40'''$	$4^h\ 14'\ 42''\ 32'''$	$4^h\ 16'\ 02''\ 32'''$	$4^h\ 16'\ 57''\ 36'''$

Ángulo hor. medio ú hora verd. de la fragata al inst. med. de las observ.	4 15 21 20
Longitud estimada al E de Cádiz en tiempo...............	4 50
Hora de Cádiz aproxîmada al mismo instante...............	4 10 31 20
Equacion total del relox á medio dia............... −	21 51, 19
$24^h : 30,''30 = 4^h\ 10'\frac{1}{2} : x$	
Variacion en $4^h\ 10'\frac{1}{2}$........................ $x = -$	5, 27
Equacion correspondiente al tiempo de la observacion....... −	21 56, 46
Hora aparente del relox...........................	4 37 15, 75
Hora verdadera en Cádiz...............	$4^h\ 15'\ 19,''\ 29 = 4^h\ 15'\ 19''\ 17'''$
Hora á bordo al mismo instante........................	4 15 21 20
Diferencia de meridianos en tiempo....................	2 03
Esto es, longitud de la fragata al E de Cádiz en grados......	30 45

es uño de aquellos casos en que es necesario perder de vista la exâctitud inaccesible, para buscar una aproxîmacion probable; y asi, el mejor partido será tomar un medio entre las dos correcciones que darían la variacion del estado y la del movimiento observado separadamente.

528 La fórmula anterior puede igualmente servir para corregir, segun la misma ley, las longitudes determinadas, quando á la vista de una tierra desconocida se halla el movimiento del relox variado. En este caso, la diferencia del estado, no es averiguable por observacion; pero, resultando de la diferencia del movimiento el valor de $nz+z$, se tendrá facilmente el de d por la equacion. Y con esta cantidad, una simple proporcion será suficiente, para deducir la de la acceleracion ó retardo absoluto del relox, para el dia en que se determinó la longitud que ha de corregirse.

DEL METODO DE LAS DISTANCIAS lunares para observar la longitud.

529 La idéa general de los métodos lunares de que vamos á tratar es esta: La velocidad de la Luna varía continuamente; pero, tomando un medio, su movimiento diurno en las 24 horas de un dia me-

dio es de unos 13° 10′$\frac{1}{2}$. Por el cálculo de las tablas puede, pues, determinarse en qué punto de este tránsito se halla la Luna á ciertas horas de un meridiano conocido: y observando su posicion en el Cielo, por medio de la distancia de la Luna á un astro que esté en su curso ó próxîmo, deducir, por su comparacion con las calculadas y la hora de la embarcacion, la distancia del meridiano actual al primero.

530 Este método es el mas directo y el mejor de los que pueden proponerse, porque su exâctitud depende poco del conocimiento de la latitud geográfica, y de las observaciones de las alturas, y solo exîge esencialmente la medida de la distancia. La mayor escrupulosidad en esta es indispensable, sin embargo: como se hecha de ver, considerando, que el arco del movimiento diurno de la Luna comprehendido entre los límites de 11° y 15° corresponde á los 360° del equador terrestre. Pero este grande influxo procede de la lentitud del movimiento, y no es contra la bondad del método, en que se saca partido de toda la velocidad del astro. Veamos las particularidades de sus operaciones.

531 Estas se reducen principalmente: al cálculo de las distancias de la Luna al Sol, ó á las estrellas zodiacales situadas convenientemente: á la

ave-

averiguacion de la distancia verdadera de los mismos astros, por la aparente observada á bordo: á la comparacion de esta distancia á las primeras, para deducir la hora de un meridiano conocido: y á la averiguacion de la hora de la observacion en el actual lugar de la nave, para determinar, por su diferencia con aquella, la de los meridianos.

532 La primera operacion, por las latitudes y longitudes de los astros conocidas anticipadamente en las tablas, se reduce á simples cálculos de Trigonometría esférica; pero como este camino es algo largo, Mr. Maskelyne ha inventado al mismo fin otro mas simple y muy propio para la construcion de las efemérides. Las reglas prácticas de este método fueron publicadas primeramente con una carta de su autor en las Transacciones filosóficas para el año de 1762, tomo 52, pero Mr. Maskelyne añadió despues la demostracion en la misma coleccion para 1764, tomo 54: y es como sigue.

533 *Dadas las latitudes de la Luna y una estrella zodiacal, y la diferencia de sus longitudes, hallar la distancia de los dos astros.*

Sea P el polo de la eclíptica, L y E los dos astros, y baxese de L el arco LA perpendicular á PE. Tendrémos, por las reglas de la Trigonometría esférica, tangente PA = tangente PL × cos P; y co- *Fig. 44.*

mo

mo $\cos AE = \cos(PE - PA) = \cos PE \times \cos PA + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{sen} PA = \cos PE \times \cos PA + \operatorname{sen} PE \times \cos PA \times \operatorname{tang} PA = \cos PA\ (\cos PE + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{tang} PA) = \cos PA\ (\cos PE + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{tang} PL \times \cos P)$, será $\cos AE : \cos PA = \cos PE + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{tang} PL \times \cos P : 1$. Pero, por los principios de la Trigonometría esférica, tambien es $\cos AE : \cos PA = \cos LE : \cos PL$; luego $\cos LE : \cos PL = \cos PE + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{tang} PL \times \cos P : 1$, esto es, $\cos LE = \cos PL \times \cos PE + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{sen} PL \times \cos P$; y por ser $\cos(PE - PL) = \cos PE \times \cos PL + \operatorname{sen} PE \times \operatorname{sen} PL$, ó $\operatorname{sen} PE \times \operatorname{sen} PL = \cos(PE - PL) - \cos PE \times \cos PL$, resultará $\cos LE = \cos PL \times \cos PE + \cos(PE - PL) \cos P - \cos PE \times \cos PL \times \cos P = \cos(PE - PL) \cos P + \cos PE \times \cos PL \times \operatorname{sen\,ver} P$.

Como se suponen las latitudes muy cortas, esto es, que no pasan 5°, el segundo término de aquella expresion es pequeño; y por consiguiente, el primero es una distancia aproxîmada, que sería exâcta si una de las dos latitudes fuese nula, como sucede siempre con el Sol. Expresando por D esta distancia, tendrémos [1] $\cos LE - \cos D = (D - LE) \times \operatorname{sen}$

(1) Porque la diferencia de dos cosenos próxîmos es igual á la de los arcos, multiplicada por el seno de la semisuma de los mismos arcos. En efecto: por el cálculo de los senos es

$\times$ seno $\left(\frac{D+LE}{2}\right)$, y $(D-LE)\times$ sen $\left(\frac{D+LE}{2}\right)$ $=\cos PE\times\cos PL\times\text{sen ver }P$; de donde se sigue LE $=D-\frac{\cos PE\times\cos PL\times\text{sen ver }P}{\text{sen}\left(\frac{D+LE}{2}\right)}$, ó proxîmamente

$$LE=D-\frac{\cos PE\times\cos PL\times\text{sen ver }P}{\text{sen }D}$$, ó lo que es lo mismo $LE=D-\text{cosec }D\times\cos PE\times\cos PL\times\text{sen ver }P$.

Para reducir esta expresion á partes de la circunferencia, podrá multiplicarse por 206265 (número de segundos que contiene un arco igual al radio), y resultará $206265\times\text{cosec }D\times\cos PE\times\cos PL\times\text{sen ver }P$, igual á la correccion que debe aplicarse á D, ó á la distancia primera, para tener con suficiente exâctitud la verdadera L E.

534 El error de esta fórmula procede de tomar $D=\frac{D+LE}{2}$, por donde el valor hallado de LE resulta excesivo. Mr. Maskelyne dá otra expresion apro-

es $\cos a-\cos b=2\,\text{sen}\left(\frac{a+b}{2}\right)\times\text{sen}\left(\frac{b-a}{2}\right)$; pero, por suponerse muy corta la diferencia de los arcos, es sensiblemente $\text{sen}\left(\frac{b-a}{2}\right)=\frac{b-a}{2}$; luego $\cos a-\cos b=(b-a)\times\text{sen}\left(\frac{a+b}{2}\right)$.

aproxîmada para hallar este exceso; pero su uso haria el método demasiado complicado para preferirlo al rigoroso, y en la práctica es despreciable. Mr. Maskelyne demuestra: que, aún quando se suponga la latitud de la Luna de 5° y la de la estrella de 15°, el error será de solo 10″: si la latitud de la estrella es de 10°, el error se reducirá á 4″½: si ambas latitudes son de 5°, el error disminuirá á 1″; y asi en adelante.

535 Como las efemérides dán calculadas anticipadamente las distancias lunares referidas á un meridiano conocido, esta operacion no es necesaria en la práctica, y la observacion de la longitud se reduce á las tres siguientes.

1ª. *Operacion.* 536 *Dada la distancia observada del limbo iluminado de la Luna al del Sol ó á una estrella, con las alturas observadas de los mismos astros sobre el horizonte sensible, y la longitud de estima, hallar la distancia verdadera de los dos astros.*

1.° Por la longitud de estima, hallese la hora aproxîmada que debe contarse al instante de la observacion en el meridiano á que se refieren las tablas, á fin de determinar para el mismo tiempo todos los elementos del cálculo.

°2. Aplíquese á la distancia observada de los limbos los semidiámetros (segun se hayan tomado

los

los mas próxîmos ó distantes), ó solamente el de la Luna si el otro astro es una estrella; y se tendrá la distancia aparente de los centros. A las alturas observadas, aplíquense tambien la depresion y semidiámetro, ó solamente la depresion en las estrellas; y se tendrán igualmente las alturas aparentes de los centros.

Pareçe inútil advertir, que el prescripto es el semidiámetro de altura; y que asi, al horizontal de la Luna hallado en las efemérides, debe añadirse el aumento correspondiente (P. A. 334). Entre otras varias colecciones, la de las necesarias para usar el Almanak náutico contiene una tablita de estos aumentos.

3.° Corríjanse las alturas aparentes de los efectos de refraccion y paralaxe (383); y se tendrán las alturas verdaderas de los astros.

La paralaxe de la Luna que dán las efemérides es tambien la horizontal; y asi, deberá inferirse por ella la de altura (P. A. 279).

4.° Con la distancia *ls* y los complementos de las alturas aparentes Z*l*, Z*s*, se conocen los tres lados del triángulo Z*ls*; y por ellos será facil resolverlo, y calcular el ángulo Z, del siguiente modo: *Fig. 45.*

De la semisuma de los tres lados substraigase separadamente cada uno de los dos lados Z*l*, Z*s*; con

lo que se tendrán dos restas. Súmense los logarithmos de los senos de las dos restas, y los complementos aritméticos de los senos de Zl y Zs (ó de los cosenos de las alturas aparentes); y la mitad de la suma será el logarithmo del seno de la mitad del ángulo Z.

5.° Conocido ya el ángulo Z, se tienen en el triángulo ZLS los complementos de las alturas verdaderas ZL, ZS, y el ángulo que comprehenden; por cuyos datos, y las siguientes analogías, resultará facilmente el tercer lado:

$$R : \cos Z = \text{tang}\, ZL : \text{tang}\, ZA.$$

Tómese la diferencia ó suma (segun el ángulo Z sea agudo ú obtuso) del primer segmento ZA y el lado ZS, para tener el segundo segmento AS, y dígase:

$$\cos ZA : \cos AS = \cos ZL : \cos LS.$$

Con lo que se tendrá últimamente la distancia verdadera LS referida al centro de la Tierra, esto es, libre de los efectos de refraccion y paralaxe.

2.ª *Operacion.* 537 Como las efemérides no pueden dár las distancias lunares para cada instante, será muy casual que la observada corregida convenga precisamente con alguna de las expresadas, y por consiguiente necesario inferirla por las próxîmas. Esto es facil, y se reduce á una simple regla

de

de proporcion; porque los interválos que dividen las distancias calculadas son bastante cortos para suponer sus variaciones uniformes. Asi, no habrá mas que decir: La variacion, ó la diferencia de las dos distancias mas próxîmas que abrazan la observada, es al tiempo intermedio: como la diferencia de la distancia observada y la primera de las otras, es á la cantidad de tiempo que debe añadirse á la hora de esta, para tener la del meridiano de las tablas en que se verificó la posicion observada.

3.ª *Operacion.* 538 Averiguada ya esta hora, solo resta determinar la de la embarcacion al mismo instante con toda la exâctitud posible; y por consiguiente, si á este fin se empleáre el método de la altura absoluta de un astro, que bien practicado es siempre el preferible, además de los otros datos, deberá suponerse la altura del polo conocida.

539 El exemplo que incluimos, consultado, facilitará la práctica de este método (1): sobre el qual solo nos quedan que hacer algunas advertencias generales.

540 El suponer, en la resolucion del problema, conocidas las alturas de ambos astros para el mis-

mo

(1) Para el exemplo nos hemos servido de las tablas auxîliares publicadas en Inglaterra, año de 1781.

mo instante en que se tomó la distancia, no implíca que precisamente hayan de observarse los tres elementos al mismo tiempo. Esta restriccion sería sin duda una desventaja en ciertas circunstancias; y así bastará, que por observaciones anteriores puedan inferirse las alturas que convienen al instante que exîgen las operaciones: á cuyo fin se ofrecen varios recursos.

541 Uno de ellos es, quando el observador se halle sin asistente, tomar por sí dos veces la altura de cada uno de los astros, y notar en un relox de confianza los intervâlos pasados entre los instantes de las alturas y de la distancia; pues, siendo estos intervâlos cortos, podrán suponerse uniformes las variaciones de las alturas: y por una regla de proporcion sacar lo que debe sumarse ó restarse de qualquiera de las observadas, para tener la que se necesita.

542 Otro medio consiste en calcular, por el horario del astro, la altura que debe tener en el instante de la observacion (P. A. 178). Pero en este caso, para que el resultado solo quede con los indispensables errores de la longitud de estima, será preciso saber con exâctitud la hora de la embarcacion, por medio de un relox justo y bien arreglado ántes. Este recurso podrá ser útil, quando el hori-

rizonte, confuso por la noche, haga muy dudosa la observacion de la altura de la estrella.

543 Pero el mejor método de todos es, sin disputa, el de las observaciones contemporáneas; y aunque haya pocos buenos observadores en el mismo buque, parece dificil el caso de que no sea preferible. En efecto: tomada con mucha exâctitud la distancia, importan poco los errores que regularmente pueden suponerse en las alturas de los asistentes: y la averiguacion de la hora, que es la que exîge toda la precision posible, puede hacerse con el auxîlio de un relox y una altura tomada por el observador principal inmediatamente.

544 Este método de deducir la hora es tambien útil, aunque los tres observadores sean igualmente diestros; porque la satisfaccion con que puede practicarse la observacion única, asegura una exâctitud, que no es accesible quando la atencion del observador está distraida, y espera el momento que ha de señalar otro. Pero no es de omitir, que si la uniformidad del relox es sospechosa, aún en el espacio de algunos minutos, será mejor recurrir á otro medio. Si el intervalo del arreglo del relox al instante de la observacion es considerable, convendrá tambien averiguar su movimiento respecto al tiempo verdadero: y á su estado absoluto deducido en el pri-

primer lugar, aplicarle la diferencia correspondiente á la contraida en longitud, segun lo que se hubiese navegado, para reducirlo al meridiano en que se busca la hora.

545 De todos modos, y qualquiera que sea el método empleado, será conveniente tomar varias distancias y alturas en un corto intervalo, y notar la hora que indica el relox en cada observacion. La suma de las cantidades de la misma especie, dividida por su número, dará un medio que podrá usarse en el cálculo con mas confianza que las observaciones únicas. Pero en este caso, la exâctitud del resultado exîge, que el intervalo total entre las observaciones no sea considerable, y comunmente nunca deberá exceder un quarto de hora.

546 Obrando en este método de determinar la longitud con el debido esmero, tanto en la práctica de las observaciones, como en su cálculo, el error del resultado será mas ó ménos considerable, segun el actual de las tablas lunares, y el indispensable cometido en la medida de la distancia. Suponiendo el caso extremo de que el primero en la longitud de la Luna llegue á 45″, y el segundo á un minuto, Mr. Maskelyne halla que el error medio resultante en la longitud será de 50′. Pero qualquiera que tenga una justa idéa de la perfeccion de los

los instrumentos modernos, y del modo con que regularmente se combinan las causas de tales errores, conocerá, que el observador diestro é inteligente, atendiendo á las circunstancias, podrá sacar mejor partido, y reducir la incertidumbre á ménos de medio grado. Este parece tambien el límite que constantemente indican las experiencias de los buenos observadores, para dirigir la confianza del Piloto. Y desde 1789 en adelante, el mayor error de las tablas de la Luna del Almanak náutico, reducido á ménos de 30″, disminuirá á 17 millas toda la incertidumbre de la longitud determinada por las distancias, aún suponiendo un minuto de error en la observacion de este elemento.

547 Antes de pasar adelante es de advertir, que la distancia corregida (536) puede tambien servir para determinar la longitud, aún quando no se tengan las correspondientes calculadas para un meridiano conocido, y solo las longitudes de la Luna como se encuentran en el Almanak náutico ó Conocimiento de los tiempos.

Para esto: en el triángulo PLE se tienen los tres lados, esto es, la distancia LE observada y corregida, el complemento de la latitud de la estrella PE, y el complemento de la latitud de la Luna PL (conocida á corta diferencia): y resolviéndo- *Fig.* 44.

dolo, se hallará el ángulo P igual á la diferencia de las longitudes de los dos astros. Por este ángulo y la longitud de la estrella, se deducirá, pues, la de la Luna que debe compararse á las de las efemérides. Pero como estas sólo dán el lugar de la Luna de 12 en 12 horas, es necesario despues, hallar por el método de las interpolaciones dos longitudes inmediatas entre sí y á la observada: y proseguir con estos datos á la averiguacion de la hora del meridiano de las tablas, como ya indicámos (537).

Este método es útil, usando el Megámetro de Mr. Charnieres; porque las cortas distancias que este instrumento mide, no se hallan calculadas en el Almanak náutico.

548 Como la correccion de la distancia observada es la principal operacion del cálculo de la longitud, al método indicado añadirémos otros, que, aunque ménos directos, son mas cómodos.

Primer método.

549 Escríbanse sucesivamente, unas debaxo de otras, las siguientes cantidades: La distancia aparente: la altura aparente de la Luna: la altura aparente del Sol ó estrella: la suma, y la semisuma de estos tres arcos: la diferencia entre esta semisuma y la distancia aparente: la altura verdadera de la Luna:

CÁLCULO DE LONGITUD POR OBSERVACIONES HECHAS EN EL NAVIO N. EL DIA 8 DE JULIO DEL AÑO DE 1786.

Latitud N. 43° 58′ 30″. Longitud supuesta al O de Greenwich 17° 30′, en tiempo 1ʰ 10′. Altura del Observador sobre la superficie del mar 24 pies ingleses.

Observaciones, todas hechas con Quadrantes de reflexîon.	Hora en el relox que se supone indica el tiempo verdadero á bordo 10ʰ 20′ 00″, esto es, en Greenwich 11ʰ 30′ 00″	Distancia de la espiga de la Virgen al márgen próximo de la Luna 56° 55′ 15″.	Altura de α de ♍ 10° 12′ 30″	Altura del márgen inferior de la Luna 18° 40° 30″.

Paralaxe de la Luna.

Paralaxe horizontal el 8 á medio dia....	55′	3″
Paralaxe horizontal el 8 á media noche....	55	16
Variacion en 12ʰ		13
$12^h : 13'' = 11^{h\frac{1}{2}} : x$		
Proporcional para $11^{h\frac{1}{2}}$ .... x =		12
Paralaxe horizontal el 8 á $11^{h\frac{1}{2}}$.......	55	15

Semidiámetro de la Luna.

Semidiámetro horizontal el 8 á medio dia...	15′	00″
Semidiámetro horiz. el 8 á media noche...	15	4
Variacion en 12ʰ		4
$12^h : 4'' = 11^{h\frac{1}{2}} : x$		
Proporcional para $11^{h\frac{1}{2}}$ .... x =		4
Semidiám. horiz. el 8 á $11^{h\frac{1}{2}}$..........	15	4
Aumento á 18° 36′..............		5
Semidiám. en altura...............	15	9

Correccion de la altura de α de ♍.

Altura de α de ♍..............	10°	12′	30″
Depresion................ —		4	40
Altura aparente...............	10	7	50
Refraccion................ —		5	11
Altura verdadera...............	10	2	39

Correccion de la altura de la Luna.

Altura del márgen inferior........	18°	40′	30″
Depresion................. —		4	40
Altura apar. del márgen inferior....	18	35	50
Semidiámetro............... +		15	9
Altura aparente del centro........	18	50	59
Correccion de refraccion y paralaxe.. +		49	31
Altura verdadera..............	19	40	30

Correccion de la distancia observada.

Distancia de α de ♍ al márgen inferior de la Luna..........	56°	55′	15″
Semidiámetro de la Luna.........		15	9
Distancia aparente..............	57	10	24

Exâmen del estado del relox respecto al tiempo verdadero del navio.

Argumentos para la aberracion y nutacion, ó lugares del Sol y nodo de la Luna.

Longitud del Sol el 8 á medio dia..................	3ˢ 16° 21′ 06″	
Longitud del Sol el 9 á medio dia..................	3 17 18 17	
Variacion en 24 horas..........................	57 11	
$24^h : 57' 11'' = 11^h 30' : x$		
Proporcional para 11ʰ 30′...................... x =	27 24	
Longitud del Sol el 8 á 11ʰ 30′....................	3 16 48 30	Argumento para la aberracion.
Lugar del nodo de la Luna el 7....................	9 24 4 00	
Lugar del nodo de la Luna el 13....................	9 23 45 00	
Variacion en seis dias..........................	19 00	
$6^d : 19' = 1^{d\frac{1}{2}} : x$		
Proporcional para 1½ dia........................	5	
Lugar del nodo de la Luna el 8 á 11ʰ 30′.............	9 23 59	Argumento para la nutacion.

Declinacion de α de ♍.

Declinacion media á principio de 1780...............	S.	10° 00 24
Precesion en 6½ años 8 dias, á razon de 19,″4 cada año....		2 4
Declinacion media el 8..........................		10 2 28
Aberracion...............................	+	1
Nutacion................................	+	7
Declinacion aparente..........................	S.	10 2 36

Cálculo del ángulo horario.

Distancia de α de ♍ al zenit......................	79 57 21		
Distancia de α de ♍ al polo elevado.................	100 2 36	Complem. aritm. seno..	0,0067066
Distancia del polo al zenit.......................	46 1 30	Complem. aritm. seno..	0,1428830
Suma....................................	226 1 27		
Semisuma.................................	113 0 43		
Diferencia entre la semisuma y la distancia de α de ♍ al polo..	12 58 7	Logarithmo seno....	9,3510562
Diferencia entre la semisuma y la distancia del polo al zenit..	66 59 13	Logarithmo seno....	9,9639841
Suma de los logarithmos y complementos aritméticos..........			19,4646299
Semisuma, logarithmo seno de la mitad del ángulo horario....	32 40 37	....	9,7323149
Su duplo, ó ángulo horario á razon de 15° por hora.......	4ʰ 21′ 24,″93		

Sigue el cálculo del ángulo horarío.

Ascension recta del Sol el 8 á medio dia en tiempo..................	7ʰ 10′ 57,″00
Ascension recta del Sol el 9 á medio dia.......................	7 15 2, 50
Variacion en 24 horas..................................	4 5, 50
$24^h : 4' 5,''5 = 4^h 21' 25'' : x$	
Acceleracion de α de ♍ respecto al Sol en 4ʰ 21′ 25″............ x =	44, 60
Ángulo horario de α de ♍ al occidente en tiempo solar................	4 20 40, 33

Cálculo del pasage de α de ♍ por el meridiano del navio y de la hora de la observacion.

Ascension recta media de α de ♍ á principio de 1780.................	13ʰ 13′ 37,″00
Precesion para 6½ años 8 dias....................................	20, 48
Ascension recta media el 8 de Julio.............................	13 13 57, 48
Aberracion.. +	0, 06
Nutacion.. +	0, 87
Ascension recta aparente de α de ♍...........................	13 13 58, 41
Ascension recta del Sol el 8 á medio dia.........................	7 10 57, 00
Pasage de la estrella por el meridiano aproxîmado...................	6 3 1, 41
$24^h : 4' 5,''5 = 6^h 3' : x$	
Movimiento del Sol en ascension recta en 6ʰ 3′.................. x =	1 1, 00
Pasage de α de ♍ por el meridiano mas aproxîmado.................	6 1 59, 51
Ángulo horario de α de ♍ al occidente..........................	4 20 40, 33
Hora verdadera de la observacion á bordo.........................	10 22 39, 84
Longitud del navio al O de Greenwich...........................	1 10 00, 00
Hora en Greenwich al mismo instante, y es la que debe emplearse en las operaciones.	11 32 39, 84

Cálculo de la distancia verdadera y de la longitud.

Cálculo del ángulo en el zenit.

Distancia aparente......................	57° 10′ 24″			
Distancia aparente de α de ♍ al zenit........	79 52 10	Complem. aritm. seno.	0,0068242	
Distancia aparente de la Luna al zenit........	71 9 1	Complem. aritm. seno.	0,0239394	
Suma............................	208 11 35			
Semisuma..........................	104 5 47			
Semisuma ménos la distancia de α de ♍ al zenit..	24 13 37	Logarithmo seno....	9,6131565	
Semisuma ménos la distancia de la Luna al zenit....	32 56 46	Logarithmo seno....	9,7354791	
		Suma...........	19,3793992	Log. seno 29° 18′ 14″, mitad del ángulo en el zenit.
		Semisuma.........	9,6896996	

Cálculo de la distancia verdadera.

Ángulo en el zenit......................	58° 36′ 28″	Logarithmo coseno...	9,7167492	
Distancia verdadera de α de ♍ al zenit.......	79 57 21	Logarithmo tangente..	10,7517279	
		Suma mén. log. del rad.	10,4684771	Log. tang. del primer segm.
Primer segmento.......................	71 13 13	Compl. aritm. coseno.	0,4922377	
Distancia verdadera de la Luna al zenit.......	70 19 30			
Segundo segmento......................	00 53 43	Logarithmo coseno...	9.9999470	
Distancia verdadera de α de ♍ al zenit.......	79 57 21	Logarithmo coseno...	9,2415646	
Distancia verdadera.....................	57 12 5	Suma mén. log. del rad.	9,7337493	Log. cos. de la dist. correg.

Comparacion de la distancia antecedente á las de las tablas, y conclusion de la longitud.

Distancia de la Luna á α de ♍ á 9ʰ en Greenwich..................	55° 55′ 44″	
Distancia de la Luna á α de ♍ á 12ʰ..........................	57 27 59	
Variacion en 3 horas...................................	1 32 15	Logarithmo prop. — 2903
Distancia observada corregida............................	57 12 05	
Diferencia con la primera de las tablas......................	1 16 21	Logarithmo prop. + 3725
		Diferencia........ 0822 Log. prop. de 2ʰ 28′ 58″
$1^\circ 32' 15'' : 3^h = 1^\circ 16' 21'' : x$		
Intervalo pasado entre la primera distancia y la observada........... x =	2ʰ 28′ 58″	
Hora verdadera que se contaba en Greenwich al tiempo de la observacion....	11 28 58	
Hora verdadera en el navio al mismo instante.....................	10 22 39, 84	
Diferencia de meridianos en tiempo..........................	1 6 18, 16	
Esto es longitud del navio al O de Greenwich.....................	15° 34′ 31,″ 80	
Cádiz está al O de Greenwich.............................	6 11	
Luego longitud occidental del navio respecto á Cádiz................	9 23 31, 80	

CH

o',

de la

mo

cion

N.° II.

CÁLCULO DE LONGITUD POR OBSERVACIONES HECHAS EN EL REAL OBSERVATORIO DE CADIZ EL DIA 2 DE JULIO DE 1786.

Latitud N. 36° 31′ 20″. Longitud supuesta al O de Greenwich 10° 00′ 00″, en tiempo 00^h 40′ 00″. Hora en el relox 3^h 47′ 08″. Altura del márgen inferior del Sol, observada al mismo instante, 37° 42′ 55″. Altura del Observador sobre la superficie del mar 105 pies ingleses.

Cálculo del estado del relox respecto al tiempo verdadero de Cádiz.

Correccion de la altura.

Altura observada del márgen inferior del Sol, corregida del error del instrumento.		37°	42′	55″
Depresion del horizonte á 105 pies ingleses de altura.	—		9	48
Altura aparente del márgen inferior.		37	33	7
Refraccion.	—		1	14
Altura aparente corregida de refraccion.		37	31	53
Paralaxe.	+			7
Altura verdadera del márgen inferior.		37	32	00
Semidiámetro.	+		15	47
Altura verdadera del centro del Sol.		37	47	47
Distancia verdadera del Sol al zenit.		52	12	13

Cálculo de la declinacion del Sol.

Diferencia occidental de los meridianos.	00^h	40′	00″
Tiempo astronómico contado en Cádiz.	3	47	8
Tiempo astronómico contado al mismo instante en Greenwich.	4	27	8
Declinacion del Sol el 2 á medio dia.	23	2	30
Declinacion del Sol el 3 á medio dia.	22	57	44
Variacion en 24 horas.		4	46

$24^h : 4' \ 46'' = 4^h \ 27' \ 8'' : x$

Proporcional á 4^h 27′ 8″ . . . $x =$			53
Declinacion del Sol el 2 á 4^h 27′ 8″	23	1	37
Distancia del Sol al polo elevado.	66	58	23

Cálculo del ángulo horario.

Distancia del Sol al zenit.	52°	12′	13″		
Distancia del Sol al polo elevado.	66	58	23	Compl. aritmét. seno.	0,0360607
Distancia del polo al zenit.	53	28	40	Compl. aritmét. seno.	0,0949460
Suma.	172	39	16		
Semisuma.	86	19	38		
Diferencia entre la semisuma y la distancia del Sol al polo elevado.	19	21	15	Logarithmo seno.	9,5203610
Diferencia entre la semisuma y la distancia del polo al zenit.	32	50	58	Logarithmo seno.	9,7343464
Suma de los logarith. y complet. aritm.					19,3857141
Semisuma ó logarith. seno de la mitad del ángulo horario.					9,6928570 } Logar. seno de 29° 32′ 19″
Ángulo horario en grados.	59°	4′	38″		
Dicho en tiempo ú hora verdadera de la observacion.					3^h 56′ 18,″5
Hora que indicaba el relox.					3 47 8
Atraso del núm. 71.					9 10, 5

Hora que debe emplearse en las operaciones.

Hora de los promedios por el relox núm. 71.		3^h	40′	46″
El núm. 71 estaba atrasado al señalar 3^h 47′ 8″.	+		9	10, 50
El mismo relox tambien adelantaba 20,″5 en 24^h, y por consiguiente en 6′ 22″	+			00, 09
Hora verdadera de los promedios en Cádiz.		3	49	56, 59
Diferencia occidental de los meridianos.			40	
Hora verdadera en Greenwich al mismo instante.		4	29	56, 59

	Horas del relox n.° 71 de Arnold.	Dist. duplas de los márg. mas próx. del Sol y Luna, tom. con el Círc. de refl.	Alturas del márgen inferior del Sol, tomadas con un Sextante.	Dist. al zenit del márgen super. de la Luna, tomad. con un Q. de Círc. astr.
OBSERVACIONES.	3^h . . . . 36′ . . . . 53″	163° . . . . 18′ . . . . 30″	39° . . . . 47′ . . . . 00″	47° . . . . 02′ . . . . 20″
	3 . . . . 39 57		39 . . . . 08 00	46 . . . . 44 30
	3 . . . . 42 24	163 . . . . 21 30	38 . . . . 41 00	46 . . . . 30 10
	3 . . . . 43 51		38 . . . . 24 00	46 . . . . 23 20
Suma.	14 . . . . 43 05	326 . . . . 40 00	156 . . . . 00 00	186 . . . . 40 20
Promedios ó quarta parte.	3 . . . . 40 46	81 . . . . 40 00	39 . . . . 00 00	46 . . . . 40 5

Cálculo del semidiámetro de la Luna.

Semid. hor. el 2 á m. dia.	14′ 59″
Sem. hor. el 2 á m. noche.	14 56
Variacion en 12^h	00 3

$12^h : 3'' = 4^{h\frac{1}{2}} : x$

Prop. para 4^h 30′ . . . $x =$	1
Sem. h. el 2 á 4^h 30′ . . .	14 58
Aum. del sem. para 43° 19′	11
Semidiam. en altura. . .	15 9

Cálculo de la paralaxe.

Paral. hor. el 2 á m. dia.	55′ 00″
Par. hor. el 2 á m. noche.	54 47
Variacion en 12^h	00 13

$12^h : 13'' = 4^{h\frac{1}{2}} : x$

Prop. para 4^h 30′ . . . $x =$	5
Par. hor. el 2 á 4^h 30′ . .	54 55
R : cos. 43° 4′ = s. 54′ 55″ : s. x	
Paralaxe en altura.	40 11

Correccion de la altura del Sol.

Alt. del márg. inf. . .	39° 00′ 00″
Error del índice del instrumento. .	50
Alt. obs. del marg. inf.	38 59 10
Depresion. . . . . . —	9 48
Alt. ap. del márg. inf.	38 49 22
Semidiámetro. . . . +	15 47
Alt. apar. del cent. .	39 5 9
Paralaxe. . . . . . . +	7
Alt. correg. del cent.	39 5 16
Refraccion. . . . . —	1 10
Altura verdadera. . .	39 4 6

Correccion de la distancia de la Luna al zenit.

Distancia al zenit del márg. super. .	46° 40′ 05″
Excentr. del ant. +	40
Dist. al zenit del márg. sup. observ.	46 40 45
Alt. observada id. . .	43 19 15
Semidiámetro. . . —	15 9
Alt. apar. del centro.	43 4 6
Paralaxe. . . . . . . +	40 11
	43 44 17
Refraccion. . . . . —	1 4
Altura verdadera. . .	43 43 13

Correccion de la distancia observada.

Distancia observ. de los márgenes mas próxîmos del Sol y Luna. . . .	81° 40′ 00″
Semidiám. del Sol. .	15 47
Semid. de la Luna. .	15 9
Distancia aparente de los centros. . .	82 10 56

Reduccion de la distancia aparente á la verdadera.

Distancia aparente de la Luna al Sol.	82°	10′	56″			
Altura aparente de la Luna.	43	4	6	Complemento aritmético del coseno.	0,1363561	
Altura aparente del Sol.	39	5	9	Complemento aritmético del coseno.	0,1100251	
Suma.	164	20	11			
Semisuma.	82	10	5	Logarithmo del coseno.	9,1343937	
Diferencia de la semisuma á la distancia aparente.			51	Logarithmo del coseno.	10,0000000	
Altura verdadera de la Luna.	43	43	13	Logarithmo del coseno.	9,8589716	
Altura verdadera del Sol.	39	4	6	Logarithmo del coseno.	9,8900826	
Suma de las alturas verdaderas.	82	47	19	Suma de los seis logarithmos.	39,1298291	
				Semisuma.	19,5649145	
Semisuma de las alturas verdaderas.	41	23	39½	Logarithmo del coseno. —	9,8751636	
				Resta.	9,6897509	Logarith. seno. . . 29° 18′ 27″
				Logar. del coseno de 29° 18′ 27″. .	9,9405191	
				Logarithmo del coseno de la semisuma de alturas verdaderas. +	9,8751636	
				Suma de los dos Logarithmos anteriores ménos el del radio. . .	9,8156827	Logarith. seno de la mitad de la dist. verdad. . . 40° 51′ 21″
Distancia verdadera.	81	42	42			

Comparacion de la distancia antecedente á las de las tablas, para deducir la hora de Greenwich, y la longitud.

Distancia de la Luna al Sol á 3^h en Greenwich.	81°	7′	37″			
Distancia de la Luna al Sol á 6^h idem.	82	31	00			
Variacion de dicha distancia en 3^h.	1	23	23	Logarithmo proporcional. —	3,342	
Distancia observada corregida.	81	42	42			
Diferencia con la primera de las tablas.		35	5	Logarithmo proporcional. +	7,102	
				Diferencia.	3,760	Logar. prop. de 1^h 15′ 44″ $= x$

$1^0 \ 23' \ 23'' : 3^h = 35' \ 5'' : x$

Intervalo pasado entre la primer distancia y la observada. $x =$	1^h	15′	44″
Hora verd. que se contaba en Greenwich al tiempo de la observ.	4	15	44
Hora verdadera en Cádiz al mismo instante.	3	49	56, 59
Diferencia de meridianos en tiempo.	0	25	47, 41
Esto es longit. occident. de Cádiz respecto á Greenw. en grados.	6°	26′	51,″15

na : la altura verdadera del segundo astro : y la semisuma de estas alturas verdaderas.

Pónganse á reglon seguido de los correspondientes elementos: los complementos aritméticos de los logarithmos de los cosenos de las alturas aparentes: los logarithmos de los cosenos de la primer semisuma, de la diferencia que la sigue, y de las alturas verdaderas. Súmense estos logarithmos : tómese la semisuma, y de esta semisuma réstese el logarithmo del coseno de la semisuma de las alturas verdaderas; y con esto quedará el logarithmo del seno de cierto ángulo.

Búsquese este ángulo en las tablas de logarithmos, y tómese el logarithmo de su coseno. Este, añadido al logarithmo del coseno de la semisuma de las alturas verdaderas, dará el logarithmo del seno de la mitad de la distancia corregida.

Demostracion. Hágase la altura aparente de la Luna, ó el complemento de $Zl,=a$, la altura verdadera de la Luna, ó el complemento de $ZL,=A$, la altura aparente del segundo astro, ó el complemento de $Zs,=h$, la altura verdadera del mismo, ó el complemento de $ZS,=H$, la distancia aparente $ls=D$, y la distancia verdadera $LS=x$. *Fig. 45.*

En los triángulos lZs, LZS es (P. A. 447)

$$\cos Z=\frac{\cos D-\text{sen}\,a.\,\text{sen}\,h}{\cos a.\cos h},\text{ y }\cos Z=\frac{\cos x-\text{sen}\,A.\,\text{sen}\,H}{\cos A.\cos H};$$

y por consiguiente $\cos x = \frac{\cos D - \operatorname{sen} a . \operatorname{sen} h}{\cos a . \cos h} \times \cos A .$ $\cos H + \operatorname{sen} A . \operatorname{sen} H .$

Pero $\operatorname{sen} a . \operatorname{sen} h = \cos a . \cos h - \cos a . \cos h + \operatorname{sen} a . \operatorname{sen} h = \cos a . \cos h - \cos(a + h)$; luego $\cos x = \frac{\cos D + \cos(a+h)}{\cos a . \cos h} \times \cos A . \cos H - \cos A . \cos H + \operatorname{sen} A . \operatorname{sen} H$, y por ser $\operatorname{sen} A . \operatorname{sen} H = \cos A . \cos H - \cos(A + H)$, $\cos x = \frac{\cos D + \cos(a + h)}{\cos a . \cos h} \times \cos A . \cos H - \cos(A + H)$. Esta expresion se hace mas cómoda, introduciendo las tres expresiones siguientes, que resultan del cálculo de los senos:

$$\cos x = 1 - 2 \operatorname{sen}^2 \tfrac{1}{2} x,$$

$$\cos D + \cos(a+h) = 2 \cos\left(\frac{a+h+D}{2}\right) \times \cos\left(\frac{a+h-D}{2}\right),$$

$$\cos(A+H) = -1 + 2 \cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right);$$

y asi será:

$$1 - 2 \operatorname{sen}^2 \tfrac{1}{2} x = \frac{2 \cos\left(\frac{a+h+D}{2}\right) \times \cos\left(\frac{a+h-D}{2}\right)}{\cos a \ \cos h}$$

$\times \cos A . \cos H + 1 - 2 \cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)$, esto es, $\operatorname{sen}^2 \tfrac{1}{2} x$ $=$

$$=\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)-\frac{\cos\left(\frac{a+h+D}{2}\right)\times\cos\left(\frac{a+h-D}{2}\right)}{\cos a.\cos h}$$

$\times \cos A.\cos H$, ó $\text{sen}^2\frac{1}{2}x=\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)$

$$-\frac{\cos\left(\frac{a+h+D}{2}\right)\times\cos\left(\frac{a+h-D}{2}\right)\times\cos A.\cos H}{\cos a.\cos h.\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)}$$

$\times\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)$. Tomando un arco M, tal que sea

$$\left(\frac{\cos\left(\frac{a+h+D}{2}\right)\times\cos\left(\frac{a+h-D}{2}\right)\times\cos A.\cos H}{\cos a.\cos h}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$\times\frac{1}{\cos\left(\frac{A+H}{2}\right)}=\text{sen}\,M$, resultará, substituyendo,

$$\text{sen}^2\tfrac{1}{2}x=\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)\times(1-\text{sen}^2M)=\cos^2\left(\frac{A+H}{2}\right)\times\cos^2M;$$

y por consiguiente $\text{sen}\,\frac{1}{2}x=\cos\left(\frac{A+H}{2}\right)\times\cos M$.

Asi, hallando primero sen M, se tendrá facilmente por esta expresion el valor de la distancia verdadera.

550 Este método, que debemos á Mr. Bordá, es mas cómodo que el inmediato de Trigonometría-

esférica, y muy útil para la práctica, porque no requiere mas tablas que las comunes de logarithmos. El segundo exemplo que incluimos hará su uso aún mas palpable.

Segundo método.

Fig. 45. 551 Sea Z el zenit, L el lugar verdadero de la Luna, l su lugar aparente, S el lugar verdadero del segundo astro, s su lugar aparente.

En los triángulos LZS, lZs tendrémos (P.A. 448):

$\text{sen}\, Zl \times \text{sen}\, Zs : 1 = \text{sen v.}\, ls - \text{sen v.}\, (Zl - Zs) : \text{sen v.}\, Z$,

$\text{sen}\, ZL \times \text{sen}\, ZS : 1 = \text{sen v.}\, LS - \text{sen v.}\, (ZL - ZS) : \text{sen v.}\, Z$.

Pero:

$\text{sen v.}\, ls - \text{sen v.}\, (Zl - Zs) = \cos(Zl - Zs) - \cos ls$,

$\text{sen v.}\, LS - \text{sen v.}\, (ZL - ZS) = \cos(ZL - ZS) - \cos LS$;

luego:

$\text{sen}\, Zl \times \text{sen}\, Zs : 1 = \cos(Zl - Zs) - \cos ls : \text{sen ver}\, Z$,

$1 : \text{sen}\, ZL \times \text{sen}\, ZS = \text{sen ver}\, Z : \cos(ZL - ZS) - \cos LS$,

y $\cos(Zl - Zs) - \cos ls : \cos(ZL - ZS) - \cos LS = \text{sen}\, Zl \times \text{sen}\, Zs : \text{sen}\, ZL \times \text{sen}\, ZS$; de cuya expresion resulta esta otra, $\cos(ZL - ZS) - \cos LS$

$$= \frac{\text{sen}\, ZL \times \text{sen}\, ZS}{\text{sen}\, Zl \times \text{sen}\, Zs} \times (\cos(Zl - Zs) - \cos ls).$$ (1)

Há-

(1) Para el uso de esta expresion conviene notar lo siguiente.

Representando por a la altura verdadera de un astro, y por a' la misma altura alterada por la refraccion r, tendré-mos

Hágase $\frac{\text{sen ZL} \times \text{sen ZS}}{\text{sen Z}l \times \text{sen Z}s} = m$, y teniendo por el calculo de los senos $2 \text{ sen}\left(\frac{ls + Zl - Zs}{2}\right) \times \text{sen}\left(\frac{ls - Zl + Zs}{2}\right)$, $= \cos(Zl - Zs) - \cos ls$, será, substituyendo estos valores, $\cos(ZL - ZS) - \cos LS = 2m \times \text{sen}\left(\frac{ls + Zl - Zs}{2}\right) \times \text{sen}\left(\frac{ls - Zl + Zs}{2}\right)$.

Tomémos ahora un arco a, tal que, sea $\text{sen}^2 a = m \times \text{sen}\left(\frac{ls + Zl - Zs}{2}\right) \times \text{sen}\left(\frac{ls - Zl + Zs}{2}\right)$, y será $\text{sen}^2 a = \frac{1}{2}\cos(ZL - ZS) - \frac{1}{2}\cos LS$ $= \frac{1}{2}\cos(ZL - ZS) + \frac{1}{2} - \cos^2 \frac{1}{2} LS$; por donde resul-

mos $a = a' - r$, y por consiguiente $\cos a = \cos a' + r.\ \text{sen}\, a'$, ó haciendo $r = \frac{\text{cotang}\, a'}{b}$ (en la suposicion de que b sea la cantidad constante que conviene á la ley de las refracciones), $\cos a = \cos a' + \frac{\text{cotang}\, a'}{b} \times \text{sen}\, a' = \cos a' + \frac{\cos a'}{b} = \cos a' \times \left(1 + \frac{1}{b}\right)$. Por lo qual $\log \cos a = \log \cos a' + \log\left(1 + \frac{1}{b}\right)$, ó $\log \cos a - \log. \cos a' = \log\left(1 + \frac{1}{b}\right)$: esto es, que la diferencia de los logarithmos de los cosenos de las alturas aparente y verdadera es siempre constante é igual á $\log\left(1 + \frac{1}{b}\right)$.

Por esta razon, en la tabla de Mr. Dunthorne, que contiene el complemento aritmético de $\log \frac{\text{sen ZL} \times \text{sen ZS}}{\text{sen Z}l \times \text{sen Z}s}$, la parte $\log \text{sen ZS} - \log \text{sen Z}s$ se ha hecho constantemente igual á 120.

sulta $\cos^2 \frac{1}{2} LS = \frac{1}{2} \cos(ZL - ZS) + \frac{1}{2} - \text{sen}^2 a$

$= \frac{1}{2} \cos(ZL - ZS) + \frac{1}{2} \cos 2a$, y últimamente

$$\cos^2 \tfrac{1}{2} LS = \cos\left(a + \frac{ZL - ZS}{2}\right) \times \cos\left(a - \frac{ZL - ZS}{2}\right).$$

Por esta expresion, determinado el valor de a, se deducirá inmediatamente el de la distancia LS.

552 Los principios de este método convienen en parte con los del que Mr. Dunthorne dió en las *Requisite Tables* de 1767, y sus reglas se hallan, pero sin demostracion, en las de 1781. Las diferencias logaríthmicas que contienen ambas obras, y con mas extension la última, facilitan mucho su uso, y por tanto tendrán tambien lugar en nuestra coleccion de tablas. En ellas especificarémos igualmente las reglas que resultan de las expresiones, para los que no las entiendan. Pero desde ahora recomendamos este método como pronto y exâcto, aunque sea buscando todos los logarithmos.

Tercer método.

Fig. 46. 553 Sea en el triángulo Zls, Z el zenít, l el lugar aparente de la Luna por los efectos de refraccion y paralaxe, s el lugar aparente del Sol por los mismos efectos, ó el de la estrella por el de la refraccion solo. Representémos en L el lugar ver-

verdadero de la Luna, y en S el del segundo astro. Tírense los arcos ZP, Lb, y Sd perpendiculares á lsi, y el arco Sc perpendicular á Ld: desde d como centro descríbase el arco La, y desde L como centro el arco Se.

Con esto, tendrémos la distancia verdadera LS $= Le = Ld + dc + ce = bd + ab + dc + ce = ls - lb + sd + ab + dc + ce$.

Tómese ahora $lf = Lo$, igual á la refraccion de la altura de la Luna, con lo que quedará lo igual á la paralaxe en altura: y por f y o conduzcanse los arcos fq, on perpendiculares á ls. Asi, en el triángulo lLb, será $lb = Ll \times \cos Zls = (lo - Lo) \times \cos Zls = (lo - lf) \times \cos Zls = ln - lq$; y substituyendo esta expresion en la de arriba, resultará LS $= ls + lq + sd - ln + ab + dc + ce$.

Para deducir por esta fórmula la distancia verdadera LS de la aparente ls, deberán aplicarse seis correcciones, ó por mejor decir cinco; pues las dos lq, sd pueden considerarse como una sola, y calcularse al mismo tiempo. Veamos el modo de hallar separadamente los valores de estas cantidades. Y para ello, supongamos la paralaxe horizontal de la Luna $= h$, su paralaxe en altura $= p$, su refraccion en altura $= r$, y la refraccion en altura de la estrella, ó la diferencia entre la refraccion del Sol y su paralaxe, $= s$.

Re-

1.° Representando por m la refraccion á la altura de 45°, será, segun la regla del Dr. Bradley (P. A. 296), $lf = m \times tang\, Zl$, proxîmamente; y por conseqüencia $lq = m \times tang\, Zl \times cos\, Zls$, ó, siendo por las reglas comunes de la Trigonometría esférica $tang\, Zl \times cos\, Zls = tang\, lP$, $lq = m \times tang\, lP$. Del mismo modo se hallará $sd = m \times tang\, Ps$; y asi resultará $lq + sd = m \times (tang\, lP + tang\, Ps)$.

Tomando ahora en M el punto medio del arco ls, se tendrá $tang\, lP = tang\,(lM - PM)$ $= \frac{tang\, lM - tang\, PM}{1 + tang\, lM \times tang\, PM}$, y $tang\, Ps = tang\,(lM + PM)$ $= \frac{tang\, lM + tang\, PM}{1 - tang\, lM \times tang\, PM}$; y por esto $tangente\, lP$ $+ tangente\, Ps = \frac{2\, tang\, lM + 2\, tang^2\, PM \times tang\, lM}{1 - tang^2\, lM \times tang^2\, PM}$ $= \frac{2\, tang\, PM \times tang\, lM}{1 - tang^2\, lM \times tang^2\, PM} \times \frac{1 + tang^2\, PM}{2\, tang\, PM} \times 2$. Pero, siendo por una propiedad fundamental de los triángulos esféricos, $tang\, \frac{1}{2}\, ls\, (= lM) : tang \left(\frac{lZ + Zs}{2}\right)$ $= tang \left(\frac{lZ - Zs}{2}\right) : tang\, PM$, esto es, $tang\, lM \times tang\, PM$ $= tang \left(\frac{lZ + Zs}{2}\right) \times tang \left(\frac{lZ - Zs}{2}\right)$; si tomamos un arco A, tal que $tang\, A = tang \left(\frac{lZ + Zs}{2}\right)$

$\times tang$

$\times \textit{tang} \left(\frac{lZ-Zs}{2}\right)$, será tambien $\textit{tang}\, A = \textit{tang}\, lM \times \textit{tang}\, PM$. De aqui se sigue $\frac{2\, \textit{tang}\, PM \times \textit{tang}\, lM}{1 - \textit{tang}^2\, lM \times \textit{tang}^2\, PM} = \textit{tang}\, 2\, A$; y se vé, que, determinado el valor de A, se tendrá conocido el de aquel quebrado.

Si suponemos $PM = B$, tambien se vé, que $\frac{\textit{tang}\, A}{\textit{tang}\, lM} = \textit{tang}\, B$; y que, conocido B, se deducirá facilmente lP, que expresarémos por C, y es igual á $PM \pm lM$.

Pero por el cálculo de los senos es $\frac{1 + \textit{tang}^2\, PM}{2\, \textit{tang}\, PM} = \textit{cosec}\, 2\, PM = \textit{cosec}\, 2\, B$; luego, substituyendo los valores hallados en la expresion anterior, tendrémos $\textit{tang}\, lP + \textit{tang}\, Ps = 2\, \textit{tang}\, 2\, A \times \textit{cosec}\, 2\, B$; y por consiguiente $lq + sd = 2\, m \times \textit{tangente}\, 2\, A \times \textit{cosecante}\, 2\, B$ $= \frac{2\, m \times \textit{tang}\, 2\, A}{\textit{sen}\, 2\, B}$, ó, lo que es lo mismo, $lq + sd$ $= \frac{2\, Ss \times \textit{cotang}\, Zs \times \textit{tang}\, 2\, A}{\textit{sen}\, 2\, B}$.

Por esta expresion se vé, que, substituyendo en lugar de m su valor, y determinando los arcos A, B, resultará facilmente la correccion compuesta $lq + sd$.

2.° Hasta ahora hemos supuesto, que las rêfracciones son como las cotangentes de las alturas, esto,

es, que $tang\,Zs : tang\,Zl = Ss : lf$; por lo qual, siendo con mas exâctitud $R = m \times tang\,(Z - 3R)$ (expresando R la refraccion de altura, y Z la distancia al zenit), la cantidad deducida por esta proporcion será algo errónea.

Para despejar de este error el resultado, podrá aplicarse la diferencia á la paralaxe en altura, y en lugar de p tomar constantemente $p + m \times tangente\,Zl - r$, cuya cantidad, que nombrarémos *paralaxe de la altura de la Luna corregida*, puede representarse por lo en la fig. 46. Con esto será $ln = lo \times cos\,Zls$ $= (p + m \times tang\,Zl - r) \times \frac{tang\,lP}{tang\,Zl}$; y substituyendo $p = h \times sen\,Zl$, resultará $ln = \frac{(h \times sen\,Zl + m \times tang\,Zl - r) \times tang\,lP}{tang\,Zl}$ $= \left(h + \frac{m}{cos\,Zl} - r \times cosec\,Zl\right) \times cos\,Zl \times tang\,C$; y de aqui $ln = (h + m \times sec\,Zl - r \times cosec\,Zl) \times cos\,Zl \times tang\,C$.

Fig. 47. 3.° Por los extremos de los dos arcos iguales Ld, ad, tírense las tangentes Lt, aT; y considerando La como un arco descripto desde T, y Lb como su seno, tendrémos $ab = \frac{Lb^2}{2LT} = \frac{Lb}{2\,tang\,Ld}$ $= \frac{Ll^2 \times sen^2\,Lld}{2\,tang\,Ld}$, ó lo que es próxîmamente lo mismo, refiriéndonos á la fig. 46, $ab = \frac{Ll^2 \times sen^2\,Zls}{2\,tang\,bd}$ =

$= \frac{(p-r)^2 \times sen^2 D}{2\, tang\, b\, d}$; de donde, por ser $p-r=b$ $\times sen\,Z\,l - r = (b - r \times cosec\,Z\,l) \times sen\,Z\,l$, resulta $a\,b = \frac{(h - r \times cosec\,Z\,l)^2 \times sen^2 Z\,l}{2\, tang\, b\, d} \times sen^2 D$, ó haciendo $h - r \times cosec\,Z\,l = n$, $a\,b = \frac{n^2 \times sen^2 Z\,l}{2\, tang\, b\, d} \times sen^2 D$. Por cuya expresion, será facil el cálculo de $a\,b$, acordándose de que $b\,d$ es igual á la distancia aparente, despejada de las correcciones $l\,q + s\,d$, y $l\,n$ ya halladas.

4.° En el triángulo $L\,d\,b$ tenemos $sen\,L\,d\,b = \frac{L\,b}{sen\,L\,d}$, y en el otro $d\,S\,c$, $d\,c = S\,d \times sen\,d\,S\,c$; y como los ángulos $L\,d\,b = i\,d\,e$ y $d\,S\,c$ son iguales, $d\,c = \frac{S\,d \times L\,b}{sen\,L\,d}$. Pero $S\,d = S\,s \times sen\,Z\,s\,l$, y $L\,b = L\,l \times sen\,Z\,l\,s$; luego $d\,c = \frac{S\,s \times sen\,Z\,s\,l \times L\,l \times sen\,Z\,l\,s}{sen\,L\,d}$; y por consiguiente, habiendo hallado ántes $a\,b = \frac{L\,l^2 \times sen^2 Z\,l\,s}{2\, tang\, b\, d} = \frac{L\,l^2 \times sen^2 Z\,l\,s}{2\, tang\, L\,d}$, será $c : a\,b = \frac{S\,s \times sen\,Z\,s\,l \times L\,l \times sen\,Z\,l\,s}{sen\,L\,d} : \frac{L\,l^2 \times sen^2 Z\,l\,s}{2\, tang\, L\,d}$ $= 2\,S\,s \times sen\,Z\,s\,l \times tang\,L\,d : L\,l \times sen\,Z\,l\,s \times sen\,L\,d$ $= 2\,S\,s \times sen\,Z\,s\,l : L\,l \times sen\,Z\,l\,s \times cos\,L\,d$. Por otra par- Fig. 46.

te, como en el triángulo Zls tenemos $sen\, Zsl : sen\, Zls = sen\, Zl : sen\, Zs$, será tambien substituyendo $dc : ab = 2Ss \times sen\, Zl : Ll \times sen\, Zs \times cos\, Ld$, y conseqüentemente $dc = \frac{ab}{cos\, Ld} \times \frac{2Ss \times sen\, Zl}{sen\, Zs \times Ll}$, ó lo que es lo mismo, haciendo $\frac{Ss}{sen\, Zs} = u$, $dc = \frac{ab}{cos\, Ld} \times \frac{2u \times sen\, Zl}{Ll}$. Pero $n = h - r \times cosec\, Zl$, y por consiguiente $n \times sen\, Zl = h \times sen\, Zl - r = Ll$; luego $dc = \frac{ab}{cos\, Ld} \times \frac{2u}{n}$.

5.° Ultimamente: por la construccion es claro que $ce = \frac{Sc^2}{2\, tang\, Lc}$, ó próxîmamente $= \frac{Sd^2}{2\, tang\, Ld}$, $= \frac{Ss^2 \times sen^2\, Zsl}{2\, tang\, Ld}$; luego $ce : ab = \frac{Ss^2 \times sen^2\, Zsl}{2\, tang\, Ld} : \frac{Ll^2 \times sen^2\, Zls}{2\, tang\, Ld} = Ss^2 \times sen^2\, Zsl : Ll^2 \times sen^2\, Zls = Ss^2 \times sen^2\, Zl : Ll^2 \times sen^2\, Zs$, y por consiguiente $ce = ab \times \frac{Ss^2}{sen^2\, Zs} \times \frac{sen^2\, Zl}{Ll^2}$, ó lo que es lo mismo, $ce = ab \times \frac{u^2}{n^2}$.

554 El uso de este método que, como se vé, aunque de aproxîmacion es sumamente exâcto, se ha-

hace muy facil con el auxîlio de tres tablas construidas por su inventor Mr. Maskelyne, primero en el Almanak náutico de 1772, y en 1781 por via de apendice á las *Requisite Tables*. Nosotros nos proponemos insertarlas en nuestra coleccion de tablas, y por esta razon omitimos ahora las reglas prácticas del método.

Quarto método.

555 Sea Z el zenit, l' y s los lugares aparentes de la Luna y Sol ó estrella, y $l'l$, sS las refracciones de sus alturas. *Fig. 48.*

1.° Tendrémos, el efecto de la refraccion en la distancia $lm + nS = ll' \times \cos l + sS \times \cos S = ll' \times \cos Zl's + sS \times \cos Zsl'$. Pero (Principios de Astronomía 447) $\cos Zl's = \frac{\cos Zs - \cos l's \times \cos Zl'}{\text{sen}\, l's \times \text{sen}\, Zl'}$,

y $\text{coseno}\, Zsl' = \frac{\cos Zl' - \cos l's \times \cos Zs}{\text{sen}\, l's \times \text{sen}\, Zs}$; luego

$lm + nS = ll' \times \frac{\cos Zs - \cos l's \times \cos Zl'}{\text{sen}\, l's \times \text{sen}\, Zl'} + sS$

$\times \frac{\cos Zl' - \cos l's \times \cos Zs}{\text{sen}\, ls \times \text{sen}\, Zs}$, ó $lm + ns = \frac{1}{\text{sen}\, l's}$

$\times \left(\frac{ll' \times \cos Zs}{\text{sen}\, Zl'} + \frac{sS \times \cos Zl'}{\text{sen}\, Zs}\right) - \frac{\cos l's}{\text{sen}\, l's}$

×

$\times \left(\frac{ll' \times \cos Zl'}{\operatorname{sen} Zl'} + \frac{sS \times \cos Zs}{\operatorname{sen} Zs} \right)$.

Representando ahora por r la refraccion que conviene á la altura de $45°$, y la altura de uno de los astros mayor de $10°$, tendrémos $\frac{ll' \times \cos Zl'}{\operatorname{sen} Zl'} = ll' \times \operatorname{cotang} Zl' = r$, y por consiguiente $lm + ns = \frac{1}{\operatorname{sen} l's} \times \left(\frac{ll' \times \cos Zs}{\operatorname{sen} Zl'} + \frac{sS \times \cos Zl'}{\operatorname{sen} Zs} \right) - \frac{\cos l's}{\operatorname{sen} l's} \times \left(r + \frac{sS \times \cos Zs}{\operatorname{sen} Zs} \right)$.

Si las dos alturas exceden $50°$, la fórmula puede simplificarse mucho. Entonces es $lm + ns = \frac{1}{\operatorname{sen} l's} \times \left(\frac{ll' \times \cos Zs}{\operatorname{sen} Zl'} + \frac{sS \times \cos Zl'}{\operatorname{sen} Zs} \right) - \frac{\cos l's}{\operatorname{sen} l's} \times 2r$; cuya expresion, substituyendo $ll' = \frac{r \times \operatorname{sen} Zl'}{\cos Zl'}$, $sS = \frac{r \times \operatorname{sen} Zs}{\cos Zs}$, y $\frac{\cos l's}{\operatorname{sen} l's} = \operatorname{cotang} l's = \frac{1}{\operatorname{sen} l's} - \operatorname{tang} \frac{1}{2} l's$, dará $lm + ns = \frac{r}{\operatorname{sen} l's} \times \left(\frac{\cos Zs}{\cos Zl'} + \frac{\cos Zl'}{\cos Zs} - 2 \right) + 2r \times \operatorname{tang} \frac{1}{2} l's = \frac{r}{\operatorname{sen} l's} \times \frac{(\cos Zs + \cos Zl')^2}{\cos Zl' \times \cos Zs} + 2r \times \operatorname{tang} \frac{1}{2} l's$;

Por

Por lo qual, como la cantidad $r \times \frac{(\cos Zs + Zl')^2}{sen\, l's \times \cos Zl' \times \cos Zs}$, nunca excede 8″, quando los dos astros están elevados á mas de 50°, el efecto de la refraccion es en tal caso $= 2r \times tang\, \frac{1}{2} l's$.

Pero quando los astros están poco elevados, es necesario atender en la fórmula fundamental, ó en las sucesivas operaciones, al defecto de la analogía adoptada, como se hizo en el tercer método.

2.° Para hallar el efecto de la paralaxe de la Luna, representémos por p su paralaxe horizontal, y tendrémos la paralaxe en altura $lL = p \times sen\, Zl$. Pero, como baxando la perpendicular Lo á lS, es la paralaxe en la distancia $lo = lL \times \cos l$, y (P. A. 447) próxîmamente $\cos l = \frac{\cos Zs - \cos l's \times \cos Zl'}{sen\, l's \times sen\, Zl'}$, será, substituyendo, $lo = p \times \left(\frac{\cos Zs}{sen\, l's} - \frac{\cos l's \times \cos Zl'}{sen\, l's} \right)$ $= p \times \left(\frac{\cos Zs}{sen\, l's} - \cos Zl' \times cotang\, l's \right)$, ó lo que es lo mismo, $lo = p \times (\cos Zs \times cosec\, l's - \cos Zl' \times cot\, l's)$.

Por el mismo camino podrá atenderse al efecto de la paralaxe solar, pero siempre será mas cómodo, determinar al mismo tiempo el único que resulte de la diferencia entre la refraccion y la paralaxe.

Es-

Este método, para mayor exâctitud, exîge la consideracion que hicimos en el tercero, para reducir la correccion lo determinada por la perpendicular Lo; pues se vé, que LS no es rigorosamente igual á oS. Para esto (553. 3.°), se tiene $LS - oS = Lo^2 \times cotang\, LS = (Ll^2 - lo^2) \times cotang\, LS = (Ll + lo)(Ll - lo) \times cotang\, LS$ ó $(Ll + lo)(Ll - lo) \times cotang\, oS$ (1): expresion que puede aplicarse á todos

(1) Nótese, para el uso de esta expresion y demás semejantes: que, haciendo el radio igual á R, se reduce á $(Ll + lo)(Ll - lo) \times \frac{cotang\, oS}{2R^2}$; y que asi, para tenerla en minutos, será necesario (por ser $3437\frac{3}{4}$ el número de minutos que contiene un arco de círculo igual al radio), substituir $3437\frac{3}{4} = R$; de lo que resulta $LS - oS = (Ll + lo)(Ll - lo) \times \frac{cotangente\, oS}{2 \times 3437\frac{3}{4}^2}$.

Usando el radio de las tablas igual á 10000000000, es tambien $cotang\, oS = \frac{cotang.\ tabular\ oS \times 3437\frac{3}{4}}{10000000000}$, y esto substituido dá $LS - oS = \frac{(Ll + lo)(Ll - lo) \times cotangente\ tabular\ oS}{2 \times 3437\frac{3}{4} \times 10000000000}$ $= \frac{(Ll + lo)(Ll - lo) \times cotang\ tabular\ oS}{68755000000000}$, ó multiplicando por 60 para tener la misma expresion en segundos, próximamente $LS - oS = \frac{(Ll + lo)(Ll - lo) \times cotang\ tabular\ oS}{1146000000000}$.

Para hallar, pues, este valor por logarithmos, podrá restarse el logarithmo del denominador 12,059, ó lo que será mas cómodo, añadir 0,941, al logarithmo del numerador, y quitar 13 de la característica.

dos los casos semejantes.

556 Mr. Lyons dió en la primera edicion de las *Requisite Tables* diversas tablas para facilitar la práctica de estos principios, y estos son los mismos que despues han servido para la construccion de la gran coleccion calculada por el mismo Mr. Lyons, Mr. Parkinson y Mr. Williams. En la que nos proponemos publicar, se encontrarán las reglas del uso de estas tablas.

Quinto método.

557 Sea Z el zenit, L el lugar verdadero de la Luna, S el del segundo astro, L*l* la diferencia entre la paralaxe y refraccion de la altura de la Luna, y *s*S la diferencia entre la refraccion y paralaxe del Sol, ó la sola refraccion de la estrella. Tirando las perpendiculares L*m*, S*n* á *ls*, *lm* y *ns* serán las correcciones que deben aplicarse á la distancia aparente *ls*, para tener próxîmamente la verdadera LS. *Fig. 49.*

1.° En el triángulo *sn*S tenemos $ns = sS \times \cos nsS = sS \times \cos Zsl$ (P. A. 447) $= sS \times \frac{\cos Zl - \cos ls \times \cos Zs}{\operatorname{sen} ls \times \operatorname{sen} Zs}$ $= sS \times \left(\frac{\cos Zl}{\operatorname{sen} ls \times \operatorname{sen} Zs} - \operatorname{cotang} ls \times \operatorname{cotang} Zs\right)$, esto es, $ns = sS \times (\cos Zl \times \operatorname{cosec} ls \times \operatorname{cosec} Zs - \operatorname{cotang} ls$

$\times$ *cotangente* Z*s*), ó lo que es lo mismo, $ns = Ss$

$$\times\left(\frac{1}{sec\,Zl \times sen\,ls \times sen\,Zs} - \frac{1}{tang\,ls \times tang\,Zs}\right).$$

Esta segunda expresion es cómoda para el cálculo por logarithmos proporcionales.

2.° Del mismo modo se hallará, que $lm = Ll \times (cos\,Zs \times cosec\,ls \times cosec\,Zl - cotang\,ls \times cotang\,Zl)$, ó $ml = Ll$

$$\times\left(\frac{1}{sec\,Zs \times sen\,ls \times sen\,Zl} - \frac{1}{tang\,ls \times tang\,Zl}\right).$$

Para hacer mas exâcto este método, es necesario aplicarle una tercera correccion, á causa de que las dos primeras ns, lm no dán con toda precision las diferencias entre ls y lS, y lS, y LS. Sin embargo, como aunque el Sol ó estrella esté algo proxîmo al horizonte, la primera parte de esta correccion es corta, en la práctica podrá reducirse la total á la segunda, y entonces resulta igual á $(Ll^2 - ml^2) \times cotang\,LS$. Expresion en que LS denota la distancia aparente corregida de ns, y lm.

558 Las reglas del método anterior se hallan en las *Requisite Tables* de 1781, y tendrán lugar en nuestra coleccion, con las tablas de logarithmos proporcionales que facilitan su uso.

559 Si se nos preguntáse ¿ qué método de los anteriores debe preferirse ? diriamos terminantemente que el primero (536). Supuesto el Piloto instruido en

en la Trigonometría esférica, sin cuyo requisito no debería serlo, los mismos principios del método le libertan del riesgo de equivocarse en las operaciones; y pudiendo recorrerlas con conocimiento á cada paso, puede al fin quedar satisfecho de la exâctitud del resultado. Á esta ventaja se añade, que aquel método es el mas rigoroso y directo. Y por tanto, los demás solo deben emplearse, quando la ignorancia haga indiferente la práctica servil de unas ú otras reglas, ó quando el Piloto inteligente quiera comparar un gran número de observaciones, para tomar un medio, ó exâminar con prontitud su conformidad ó discordancia.

560 Habiendo dicho lo que nos parece suficiente sobre el método de las distancias, no creemos inútil dar una idéa del de las alturas lunares.

El ángulo horario de la Luna para un instante qualesquiera puede hallarse por medio de su (P. A. 171) altura observada, su declinacion tomada en las tablas para el mismo instante reducido á hora de un meridiano conocido por la longitud de estima, y la latitud geográfica. Conocido asi el horario de la Luna, y buscando á qué hora de un meridiano conocido debe verificarse; la diferencia entre esta hora y la del lugar en que se observó dará inmediatamente la de los meridianos.

En caso de no querer buscar directamente por las tablas la declinacion que conviene al instante de la observacion, puede observarse la altura meridiana de la Luna; y, por la altura del polo conocida, deducir la declinacion al tiempo de este pasage. La qual, por el interválo medido en un buen relox, y el movimiento en declinacion conocido por las tablas, dará facilmente la que conviene al instante propuesto.

Si la diferencia de meridianos determinada de este modo difiere mucho de la supuesta para el cálculo, podrá hacerse otra suposicion, y repetir las operaciones hasta que convengan proxîmamente.

561 Este método puede tener su utilidad en tierra quando no sea dable comparar la Luna al Sol ó á una estrella, y es el que se propuso facilitar Mr. Pingré con los cálculos del *Etat du Ciel* publicado para los años de 1754, 55, 56 y 57.

562 Concluyamos este asunto, con algunas reflexîones sobre el uso de las variaciones de la Aguja para hallar la longitud en la mar.

Como las curvas de variacion son en muchas partes del globo perpendiculares ó muy inclinadas á la línea este-oeste, la interseccion de la curva y la del paralelo observado dá facilmente el lugar de la nave en la Carta. Este método se ha propuesto des-

desde la publicacion de la carta de Halley: y no es dudable, que su uso convendria en la práctica, si como sencillo fuese exâcto.

Pero la primera consideracion de sus elementos bastan para hacer conocer que no lo es ni en grado pasable. Las curvas de variacion están trazadas segun las longitudes de estima en que se hicieron: de modo, que cada punto de la curva tiene el mismo yerro, y que, por consiguiente, el que crea corregir su longitud por este medio, quando mas, solo substituye á su estima la de otro, tal vez mas defectuosa. Esto sucede ahora por la grande escaséz de observaciones de variacion en puntos bien conocidos. Pero, aún suponiendo que la práctica general de las observaciones de longitud nos pusieran muy breve en estado de construir una Carta magnética con los cortos errores de los métodos astronómicos, la determinacion del punto por la variacion no sería tan precisa; y, á pesar de su facilidad, nunca debería preferirse á los primeros. La observacion de la variacion en la mar es muy (1) defectuo-

(1) Mr. Wales (Vease en el último viage de Cook su contienda con Mr. le Monnier sobre la conducta de aquel Capitan para buscar el Cabo de la Circuncision) ha deducido los siguientes resultados.

Varios exemplares manifiestan que las variaciones observadas con

tuosa; y de aqui puede resultar, que ni la curva en la Carta denote las verdaderas variaciones de los lugares, ni la observada sea la que convenga al actual

con la misma Aguja difieren de 3°, 5°, 6°, y aún algunas veces 10°, por la sola causa de mudar la cabeza de la embarcacion al otro bordo.

2.° Que la misma Aguja, en la misma situacion en todas circunstancias y en el espacio de pocas millas, pero en diferentes horas del dia, dá variaciones diferentes entre sí de 3°, 4°, 5°, 6°, y aún 7°.

3.° Que la misma Aguja, en el mismo dia y usada por el mismo observador, dá variaciones diferentes entre sí de 5° á bordo del mismo buque, sea navegando, sea al ancla.

4.° Que Agujas hechas por el mismo artista, en el mismo tiempo y lugar, pero á bordo de diferentes embarcaciones, difieren en la variacion de 3°, 4°, y 5°.

5.° Que las mismas Agujas, á bordo de la misma embarcacion y á pocas millas de distancia, pero en diferentes tiempos, dán variaciones diferentes de 4°, 5°, y aún mas.

6.° Que varias Agujas, al mismo tiempo, á bordo del mismos buque y exâctamente en las mismas circunstancias, dán variaciones que difieren entre sí de 3°, 4°, 5°, y 6°.

Si las variaciones salieron tan discordes con los excelentes instrumentos y observadores de la Resolucion ¿qué podrá esperarse de los facultativos y medios ordinarios? Sirva esta leccion á los que se contentan con la pura práctica de la estima, y que, aún en ella, son tan poco escrupulosos sobre los instrumentos como sobre el modo de manejarlos. Y sobre todo, sirva para probar concluyentemente, la necesidad de recurrir á las observaciones celestes, que son las únicas que pueden descubrir los errores cometidos.

tual lugar de la nave: errores que, combinados, deben dar una posicion muy falsa.

Á esto se añade que la variacion muda, aunque con bastante lentitud, muy irregularmente en todo el globo; y que, en la imposibilidad de adquirir suficiente número de buenas observaciones con que corregir las curvas á menudo, precisamente han de faltar los términos de comparacion ó adoptarse los que no convienen al actual estado de las cosas. Este inconveniente quedaría vencido con el descubrimiento de la ley del magnetismo que ignoramos. Pero nosotros, dexando al juicio de los Físicos el determinar hasta qué grado podemos esperarlo, creerémos que la sola experiencia puede aumentar nuestros conocimientos en esta materia. Y asi, lejos de concluir la longitud por la variacion, nos parece que la perfeccion de los métodos de hallar la longitud son los que han de guiar á la teórica del magnetismo.

Por la misma razon, aconsejamos á todo Piloto, el observar uno y otro elemento con la exâctitud posible. Estos materiales acumulados producirán adelantamientos que tal vez no sospechamos: y aún los progresos en las observaciones de la variacion nos podrán conducir á un grado de perfeccion de que actualmente estamos muy lejos, en el método de que tratamos.

DE LAS CORRECCIONES que deben emplearse en la Navegacion.

563 Baxo este título comprehenderémos, la modificacion que exîge el uso de la Corredera, quando se altera el estado de los reloxes ó ampolletas, para adaptarlos á otro meridiano.

564 Como un buque navegando, por lo comun, muda continuamente de meridiano, para contar las horas segun el actual en que se halla, sería necesario que á cada momento se alterase el estado del relox que las indica. Pero como esta atencion á la diferencia en longitud contraida sería, en cortos intervâlos, tan inútil como incómoda, los Pilotos corrigen el estado del relox de arena al medio dia: y para esto lo dexan parado, si es de media hora, á las once y media, haciéndolo despues correr desde el instante en que observan el pasage del Sol con la altura meridiana. Sin embargo, y á pesar de que la misma precaucion manifiesta, que entre las once del relox y este medio dia observado, lo que se ha pasado es una hora mas ó ménos la diferencia en longitud contraida desde el arreglo del medio dia anterior hasta el presente, convertida en tiempo, los Pilotos adoptan, como distancia an-

dada en el mismo intervalo, lo que resulta de la experiencia de la Corredera para una hora justa.

El error de un dia es corto en las inmediaciones de la equinoccial y rumbos próxîmos al norte-sur; pero con el tiempo se multiplica, particularmente caminando siempre ácia el mismo punto de la línea este-oeste: y en todo caso se vé, que, por la razon de conocerse, no debe despreciarse. Asi, teniendo mucho cuidado en que la ampolleta indique exâctamente sus intervalos sucesivos, deberá pararse á las once y media: y, midiendo con un relox de confianza el tiempo que pasa desde aquel instante al en que el Sol está en el meridiano, aplicar al simple resultado de la Corredera, la parte proporcional que corresponda al exceso ó defecto de aquel intervalo á los treinta minutos que completarían la hora.

565 Para mayor exâctitud, será acertado, verificar esta operacion á otra hora qualesquiera observada por una altura del Sol, ó continuar el relox en el mismo estado durante algunos dias; pues los pasages por el meridiano averiguados por las máxîmas alturas, padecen una incertidumbre considerable, que, retardando el verdadero instante, se multiplica cada dia, mientras se siguen direcciones próxîmas.

566 Otra correccion, que puede ser útil en algunos casos, es la de las corrientes.

567 Un cuerpo actuado por varias potencias obedece á todas igualmente. Y asi, si mientras el viento debió hacer correr á la nave un espacio AB segun el rumbo EAB, el mismo buque experimentó la fuerza de una corriente, capáz de transportarlo en igual tiempo de la cantidad y en la direccion BC, no tiene duda, que la nave habrá realmente descripto la única diagonal AC, equivalente al doble camino de A á B, y de B á C.

Fig. 50.

En este caso, tirando DB paralela y EDC perpendicular al meridiano EA, tendrémos un triángulo DBC: en el qual, DBC representa el rumbo ó direccion de la corriente, la hypotenusa BC la distancia que es capáz de hacer andar á la nave en el tiempo en que por la fuerza del viento debió correr la AB, y los lados DB y DC la misma distancia descompuesta en las direcciones este-oeste y norte-sur, ó la diferencia de latitud y apartamiento de meridiano procedentes de aquella causa. Sabiendo, pues, por la diferencia entre la diferencia en latitud GA contrahida por la estima y la observada AE, el valor de EG igual á DB, bastará conocer el ángulo de la direccion de la corriente DBC, ó su efecto en la nave BC, para resolver el

el triángulo DBC, ó hallar por construccion la cantidad DC que debe aplicarse al apartamiento de meridiano de estima GB = ED, para tener el verdadero EC. Por este apartamiento de meridiano, se deducirá la diferencia en longitud correspondiente; y, con la diferencia en latitud observada EA, el rumbo verdadero compuesto EAC, y la distancia directa AC.

568 Conociendo al mismo tempo la BC y el ángulo DBC, no es necesaria la diferencia DB, y al contrario resulta como la DC, por la resolucion del triangulo DBC. Pero este caso es raro, y lo mas comun y seguro es emplear con la DB observada el ángulo DBC de la direccion de la corriente.

569 Pero aunque no conozcan la distancia BC, ni la direccion DBC, ni tampoco si hay corriente, los Pilotos acostumbran, quando, como sucede casi siempre, hallan algun error EG en la latitud de estima, atribuirlo desde luego á los defectos cometidos en el aprecio de la distancia, ó rumbo; y á conseqüencia, determinan la parte que debió tocarle al apartamiento de meridiano, segun ciertas reglas en que luce una singular economía y uniformidad de causas. Si el rumbo seguido ha sido próxîmo al norte-sur, nunca titubean en achacar toda la culpa á la distancia; porque, para que el

error de la diferencia en latitud procediese del rumbo, era necesario atribuírselo mas considerable. En desquite, si el rumbo es inmediato al este-oeste, les parece induvitable que el error de este elemento sea el único origen del de la diferencia en latitud. Y siguiendo las mismas reglas, en los rumbos medios ambas causas contribuyen con su parte en el efecto advertido.

La falacia de este raciocinio se percibe á primera vista, y no son necesarias muchas consideraciones para hallarlo repugnante. Por la parte de un efecto se presume determinar la causa íntegra, y despues, por ella, retroceder á la parte del efecto que se ignora: pretension tan quimérica, como absurdas las máxîmas que sujetan todos los casos á una monotonia y escaséz, incompatible con la gran variedad de circunstancias que obran en ellos. Por esta razon los autores ilustrados que copiaron tales reglas, no pudieron tener otras miras que las de conformarse á la costumbre general: y esta misma complacencia es, sin duda, la que determinó á Mr. Bouguer á procurar perfeccionar lo que debia ser abandonado. Este habilísimo académico publicó una interesante Memoria (veanse las de la Academ. año de 1752), en donde, haciendo uso del cálculo sublíme, trata de las correcciones con el tino que luce

en

en todas sus obras. Pero, sin negarle el mérito de su teórica, ni aún el uso de que es capáz en los ramos prácticos de las Matemáticas, no es de disimular, que sería muy imprudente mirarla en la Navegacion con confianza. Lo verosimil no es lo verdadero, y esta sola consideracion basta para excluir totalmente del Pilotage los cálculos de las probabilidades, aunque parezcan tan admisibles como los de Mr. Bouguer.

El Excelentísimo Sr. D. Jorge Juan hizo una aplicacion mucho mas útil de sus talentos, demostrando (vease su Compendio de Navegacion) los absurdos de las llamadas correcciones. Y fundados, tanto en su dictamen, como en la experiencia de muchos hábiles navegantes, no titubeamos en aconsejar, que se prefiera la simple estima. Con las correcciones, repitámoslo aún, no se hace otra cosa que introducir un nuevo origen de errores, haciendo mas dificil la compensacion ó disminucion que puede esperarse de los acasos ordinarios: y en el dia, gracias á los últimos progresos, estos recursos son tan inútiles como insuficientes, pudiendo determinarse con bastante exâctitud el lugar de la nave por las observaciones astronómicas.

570 La única correccion, que debe practicarse con la diferencia en latitud observada, es la de ser-

servirse de este elemento para reducir el apartamiento de meridiano de estima á diferencia en longitud: y para hallar con el mismo apartamiento de meridiano el rumbo y distancia directos que se suponen corridos.

DEL DIARIO.

571 Para dar cuenta de su conducta, no ménos que para la direccion del viage, el Piloto debe llevar un diario, en donde apunte ordenadamente todos los elementos y resultados que sirven para el desempeño de su encargo. Este diario comunmente se divide en dias astronómicos (P. A. 210): y, enfrente de cada hora de las veinte y quatro, se escriben en diferentes columnas el rumbo seguido, las millas andadas, y el abatimiento medido. Con estos elementos, y la variacion ó variaciones observadas, se deducen los rumbos corregidos (107), que tambien suelen apuntarse; y, por ellos, el lugar (209) en que se halla la nave al medio dia, en que se concluyen las veinte y quatro horas, ó *singladura*. Á esto deben añadirse, los elementos y resultados de las observaciones de latitud y longitud, con las combinaciones hechas de unos y otros datos, y quanto contribuya á asegurar el conocimiento de la posicion actual, y por consiguiente el

el acierto de las medidas ulteriores.

572 Los Pilotos tambien suelen apuntar el aparejo con que se navegó, la fuerza del viento, la apariencia del Cielo, y en particular ácia el horizònte, la calidad del oleage, y otros sucesos, que, aunque no de una conexìon muy íntima con su ramo, no dexan de ser útiles, y aún precisos, si se considera como indivíduo de una comunidad en cuyas disposiciones generales debe interesarse.

573 Pero en lo que el Piloto puede mas generalmente manifestar su ciencia y celo, es en las observaciones que su situacion le facilita practicar, para los adelantamientos de la Geografía é Historia Natural. Las variedades de la especie humana en figura, costumbres &c. la apariencia, altura, y naturaleza de las costas: su relacion con el fondo inmediato: la disposicion y naturaleza de las islas y baxos: las profundidades del océano á diversas distancias de los continentes: su color, temperamento y peso: la direccion, variacion, velocidad y extension de las corrientes: los bancos de hielo: la clase de los pàxaros, y distancia de las tierras á que se descubren: la de los peces: los vientos, y calmas: las tempestades, uracanes, lluvias y granizo: el temperamento y peso del ayre: los fenómenos del magnetismo &c. son otros tantos puntos en que el Pilo-

loto puede ser útil, con solo ser cuidadoso en las observaciones y cándido en la relacion de ellas.

574 El Piloto hábil, sobre todo, además del comun que le sirva para la cuenta del viage, debe llevar un diario separado en que, apuntando el resumen del primero, exprese las observaciones constantes que son de mas importancia para su instituto. Tales son las del Barómetro y Termómetro, las de las Agujas de variacion é inclinacion, los resultados de los reloxes, métodos astronómicos &c. Estos datos, presentados generalmente, facilitan hacer un breve juicio de la eficacia de los medios empleados por el Piloto, y son de un grande auxîlio para deducir consequëncias y conocimientos, no ménos útiles para los progresos de las demás ciencias, que para ilustrar al que despues se proponga seguir el mismo viage. Por esta razon, y para exôrtar á la práctica y ordenacion de tales observaciones, presentamos al lector la traduccion de una parte del Diario de Mr. Dalrymple á la India, que juzgamos modelo perfecto en el asunto.

DIARIO DEL VIAGE DEL NAVIO GRENVILLE, SU CAPITAN B. A. A LA INDIA ORIENTAL. POR ALEXANDRO DALRYMPLE, DE LA REAL SOCIEDAD DE LONDRES. AÑO 1775.

1775	Te	Barómetro marino. R	Barómetro marino. S	Barómetro marino. Te	Barómetro marino. D	Tiempo y vientos.	DA DLa N	DA DLa S	DA DLC RM O	DA DLC RM E	Long. respecto á Greenw. Es	Long. respecto á Greenw. RM	Long. respecto á Greenw. D☽ RM	Long. respecto á Greenw. ☽	ND	A	DE	Latitud. E	Latitud. O	LonC RM	Magnetismo. Variacion. Az	Magnetismo. Variacion. Amp.	Magnetismo. Inclinacion. Cara. E	Magnetismo. Inclinacion. Cara. O	Magnetismo. Inclinacion. IM	Magnetismo. Inclinacion. IC		MA	*NOTA.* Corredera 51 pies ingleses para 29″½.
		Pul.Dec.	Pul.Dec.		Pul.Dec.						O	O	O	O				N	N	O	O	O							
Abril 28						c. ni. c. SE. ESE. S¼SE. E¼SE. ESE. SE.													49.43				72.4	73.6	73.1	73.1			Entre Ramhead, y Punta Lizard.
29						c. ni. se. v. O¼SO. OSO. SO¼O. SO. OSO. v. c. v. OSO													49.50	5.35			72.4	73.7	73.1	73.1			Punta Lizard. E 5° 37′½ N = ENE 5° 37′½ N. 7 ú 8 leguas de la costa.
30			30.2½	55		ni. ll. SO¼O. OSO. O. ni. ONO. NO¼O. ni. ll. ONO. C. NNO. ll. c. NNO. NO¼N. NO.		6		7	6.19	6.12						49.25	49.19	6.12			73	74	73.4	73.4	Mucha marejada.	37	A la 1h la Punta Lizard demoraba al E 5° 37′½ N. de la aguja ó corregida la variacion al ENE 5° 37′½ N. 7 leguas. El fin de la tierra (the Land's End) N¼NE = N¼NO. Tomamos el punto de salida por el primer dato en 49° 57′ 30″. Latit. N. 5°,15′ long. occid. Intervalos primero y medio, ventolinas y calmas: último, viento galeno. Mucha mar del O.
Mayo 1	59		30.4½	61		c NO¼N. NO¼O. c. NO¼O. NO. c. ONO. O¼NO. c. O. OSO. O¼SO.		11		14	6.40	6.19						48.42	48.25	6.19			72	73.4	72.6	72.6		51	Viento floxo: mucha marejada del O.
2	57			56		ni. llp. OSO. SO¼O. llf. ll. SO¼S. SO. O¼SO. ll. ni. llp. O. ONO. ni. ll. c. ni. NO¼O. ONO. NO¼O.		9	33		7.22	7.34						48.51	48.43	7.34			72.4	73	72.6	72.6	Mucha marejada.	47	Viento floxo por la mayor parte mucha mar del O.
3	54¾		30.0⅓	54		nu. NO¼N. C. nu. C. nu. C. E. nu. ni. E. E¼NE.		31	9		7.29							48.34	(48.26)	(7.41)			72	72.4	72.2	72.2		18	Calma por la mayor parte: muchísima mar del O.
4	56½		30.0¾	56¼		ni. ENE. ni. ENE. ni. nu. ENE. V. nu. NE. V. C.					7.57	8.18						47.51	47.20	8.18			71.4	72.6	72.1	72.1	Muy estable.	48	Viento floxo, y mucha marejada.
5	57½		30.0	57½		ni. C. O¼SO. nu. ni. O. OSO. SO. ni. ll. SO. OSO. ni. llp. nu. O¼SO. OSO. NE¼N.		13		7	7.13	7.27						46.56	46.12	7.27			71	72.4	71.6	71.6	Mucho movimiento.	68	Intervalos: primero, calma: medio, viento creciente del Oeste con lluvia: último, viento fresquito del Norte.
6	55¾		30.2	55½		ni. N. NNE. ni. NNE. NE. ENE. ni. nu. ENE. ESE. E¼NE. nu. c. E¼NE. E¼SE.		19		12	8.36	8.38						45.58	44.55	8.38		18,42	71	72	71.4	71.4	Bastante movimient.	83	Vientos floxos por la mayor parte con marejada del NO.
7	57		30.2¼	56½		c. ESE. c. E. c. E. c. E. E¼NE. ENE.		21	4		10.13	10.19						44.14	42.50	10.19			69.6	71	70.3	70.3	Muy estable.	126	Viento creciente del E.
8	61¼		30.2¾	60¾		ni. NE¼E. NNE. ni. NNE. ni. NNE. ni. NNE. NE.		39	13		10.22	10.43	3 14	10.40 10.29	4 4	⊙	27 46	41.52	40. 9	10.43			68.4	69.2	68.7	68.6	Idem.	142 620	Primera parte del dia, vientos *frescos*: última, moderados.

EXPLICACION DE LAS DIVISIONES.

I.... Dia del mes.

II.... Altura del Termómetro de Fahrenheit colgado al ayre libre en la galería.

III... En quatro columnas. Indicaciones de tres diferentes Barómetros, y de un Termómetro de azogue (señalado *Te*), adherente al Barómetro S para corregir su altura. El Barómetro S compuesto de azogue y un fluido mas ligero, para hacer mas visibles las alteraciones: los otros dos R, D de azogue, segun executan comunmente MM. Nairne y Blunt.

IV.... En quatro renglones. El tiempo, y los vientos: el primer renglon desde el medio dia hasta 6^h, el segundo desde 6^h hasta 12^h, el tercero desde 12^h hasta 18^h, el quarto desde 18^h hasta 24^h. En la columna del tiempo, *c* significa claro, *at* aturbonado, *nu* nublado, *ni* niebla, *ll* lluvia, *llf* lluvia fuerte, *llp* poca lluvia, *llo* llovizna, *ch* chubascos de agua, *tr* truenos, *re* relámpagos.

Es de advertir que los vientos están indicados segun la Aguja, sin la correccion de la variacion.

V.... En dos columnas. Diferencia entre la diaria alteracion de latitud por estima y por observacion. N denota que la observacion cae al norte de la estima, y S lo contrario.

VI.... En dos columnas. Diferencia entre la diaria alteracion de longitud por la estima y por el relox marino. O denota que la longitud por el relox cae al Oeste de la estima, y E al Este.

NOTA. Se echa de ver que el resultado de estas diferencias manifiesta el efecto diario de las corrientes, atendida, sin embargo, la incertidumbre que procede del uso de la Aguja y Corredera.

VII... En siete columnas. La longitud respecto á Greenwich.

1.ª La longitud de estima.

2.ª La longitud segun una muestra ó relox marino construido por Arnold, pero sin sus últimos adelantamientos.

3.ª La diferencia entre las longitudes deducidas por las observaciones lunares y por el relox no corregido. E denota que el relox está al Este de la observacion, y O al Oeste.

4.ª La longitud por observaciones de las distancias de la Luna al Sol ó á las estrellas, referidas por la estima al medio dia mas próximo al tiempo de la observacion.

5.ª El número de distancias observadas.

6.ª El astro cuya distancia á la Luna se observó. ⊙ significa el Sol, * Estrella, E la Espiga de la Virgen, R Régulo, A Aldebarán, An Antáres.

7.ª La diferencia extrema entre los resultados de las observaciones, expresada en minutos de grado. Advirtiendo, que quando los segundos excediéron de 30 se tomáron por un minuto, y que quando fuéron ménos de 30 se despreciáron.

VIII.. En dos columnas. La latitud.

1.ª La latitud de estima contada desde el punto de salida.

2.ª La latitud por observacion, y á falta de esta la latitud deducida por la estima de la última observada, en cuyo caso se incluye dentro de ().

IX.... La longitud respecto á Greenwich deducida por el relox marino corregido por las vistas de tierras conocidas, ó por observaciones lunares, tomando en estas un medio entre las hechas á corto intervalo. Las variaciones del relox marino notadas en estos casos se han supuesto uniformes, y las longitudes intermedias se han corregido por este principio. Quando no pudo observarse el tiempo se ha deducido de la última observacion, y entónces se incluye dentro de ().

X.... En siete columnas. Las observaciones magnéticas de la variacion é inclinacion.

1.ª } La variacion por { azimut. } La señal * precedente denota, que la observacion se hizo por la mañana, y siguiente que por la tarde.
2.ª } { amplitud. }

3.ª La inclinacion con la cara del instrumento al E.

4.ª Id. con la cara al O.

5.ª La inclinacion media de las observaciones precedentes.

6.ª El medio corregido, ó la que se supone inclinacion verdadera. Véase el fundamento de esta correccion en una nota de Mr. Cavendish adjunta á este Diario.

7.ª Las circunstancias en que se hiciéron las observaciones de la inclinacion.

NOTA. Los extremos de la Aguja de inclinacion, construida por Sisson, son de figura cónica, y giran en agujeros cónicos de bronce ó metal de campanas, al modo que la Aguja de Mr. Lorimer, descripta en las *Transacciones filosóficas*, Tomo LXV, pág. 79.

La inclinacion se observó constantemente con la cara del instrumento al Este y al Oeste, y en el tiempo del viage se mudáron dos veces los polos, para ver si la Aguja continuaba bien equilibrada. El uso de este método de observar se halla explicado en las *Transacciones filosóficas*, Tomo LXVI, pág. 396.

XI.... Las millas andadas por la Corredera.

LIBRO SEGUNDO.

TERCERA PARTE.

CONOCIMIENTOS INDEPENDENTES necesarios al Piloto.

DE LAS MARÉAS.

575 Llámase *maréa* al movimiento periódico por el qual el Mar se eleva y desciende alternativamente dos veces cada dia.

576 En este movimiento, que se observa con especialidad en los mares vastos y profundos, las aguas suben durante unas seis horas, extendiéndose é inundando los países inmediatos á la orilla; pero concluida esta irrupcion, que se llama *maréa entrante ó fluxo*, quedan estacionarios un corto intervålo de tiempo, esto es, algunos minutos (Á este fin del fluxo se llama *pleamar ó maréa alta*), para volver á baxar durante otras seis horas: formando asi la *maréa vaciante ó refluxo*. Despues de la qual, y de otro breve espacio de reposo (que tambien se llama *baxa mar ó maréa baxa*), ascienden como ántes: repitiendo las alternativas incesantemente.

577 En las maréas se notan unas mayores que

otras, segun varias causas regulares ó accidentales que despues indicarémos: y de estas se llaman *maréas vivas* aquellas en que la elevacion y descenso de las aguas es mas considerable, y *muertas* las en que la diferencia de las alturas es mas corta.

578 Los fenómenos de las maréas tienen una relacion tan visible con los movimientos lunares, que, despues de bien observados, no pudo tardarse en atribuirlas á su influxo: y descubierta ya la atraccion, deben mirarse como pruebas, tanto mas convincentes de este sistema, quanto todas las explicaciones dadas ántes, son, quando no ridiculas, á lo ménos frivolas é insuficientes. El gran Newton hizo ver de un modo general esta aplicacion de su principio; pero, no pudiendo salir perfeccionada de sus manos la completa solucion del problema de las maréas, se debe á la Academia de las Ciencias de París, que la propuso por asunto del prémio de 1740. MM. Daniel Bernoulli, Mac-Laurin y Euler concurriéron en esta ocasion con Memorias que bastarían para establecer la reputacion de geómetras ménos célebres por otras producciones: y teniendo cada una un mérito particular, que hace muy dificil la preferencia, dividieron con mucha razon el prémio. La Academia, ó por mejor decir, sus comisarios asociaron en esta gloria al P. Antonio Cava-

lleri,

lleri: ya sea por preocupacion á favor del Cartesianismo, ya sea por no parecer adoptar exclusivamente algun sistema. Pero el curso del tiempo, que con la imparcialidad acarrea la justicia, ha colocado las tres primeras Memorias sobre la basa de la atraccion en el lugar que se merecen, y sepultado la del último filósofo en las ruinas de los torbellinos.

Aún en el dia son aquellos los tres mejores tratados que poseemos en el asunto. Y asi, en la precision de limitarnos actualmente á la simple indicacion de los fenómenos generales y sus causas, recomendámos su lectura á todo el que quiera adquirir una sólida instruccion sobre la teórica de las maréas, auxîliándola con el excelente tratado práctico de Mr. de la Lande.

Fenómenos de las maréas. 579 Los fenómenos generales, que se verifican en todos los parages donde el movimiento de las aguas no está alterado por islas, cabos, estrechos ú otros obstáculos, pueden reducirse á tres periódos: 1° el periódo diario: 2° el mensual: 3° el anual.

580 El periódo diario consta de unas $24^h 49'$, esto es, del tiempo que la Luna gasta en su revolucion diurna: durante cuyo interválo el fluxo y refluxo se verifica dos veces cada uno. En este periódo se observa además principalmente: 1° Que la plea-

mar sucede mas temprano en las radas orientales que en las occidentales. 2° Que entre los trópicos la mar parece tener un movimiento constante del éste al oéste. 3° Que en las proxîmidades de los polos la maréa es sensiblemente nula.

581 El periódo mensual consiste en que las maréas son mayores ácia las sizigias que ácia las quadraturas lunares, ó, para expresarnos con mas exâctitud, en que las maréas máxîmas de cada lunacion se verifican á la distancia de unos 18° mas allá de los novilunios y plenilunios, y las mínimas á la misma distancia poco mas ó ménos despues de cada quarto. En este periódo tambien se observa: 1° Que las maréas ván aumentando de las quadraturas á las sizigias, y disminuyendo de las sizigias á las quadraturas. 2° Que las dos maréas consecutivas son algo diferentes en las alturas y duraciones, segun las circunstancias. 3° Que, segun algunas observaciones, las maréas de los novilunios son algo mas fuertes que las de los plenilunios. 4° Que, estando la Luna en las sizigias ó en las quadraturas, la pleamar sucede, como dos horas despues del pasage de la Luna por el meridiano: corriendo la Luna de las sizigias á las quadraturas; el tiempo de la pleamar sucede ántes de las dos horas: y al contrario en el movimiento de las quadraturas á las si-

sizigias. 5° Que la Luna se halle en el hemisferio austral ó en el boreal, el tiempo de la pleamar no sucede mas tarde en las costas septentrionales.

582 El periódo anual consiste en que generalmente las maréas que ocurren en los equinoccios son muy considerables, aunque no las máxîmas en todas las costas, segun despues verémos. En este periódo tambien se distingue: 1° Que las maréas del solsticio de invierno son mayores que las del solsticio de verano. 2° Que las maréas son tanto mas grandes, quanto la Luna se halla mas próxîma á la Tierra. De donde por analogía se concluye, que la distancia del Sol debe tener un proporcionado influxo; y que, suponiendo todas las demás circunstancias iguales, las maréas máxîmas deben verificarse, quando, estando en las sizigias, se hallen el Sol y la Luna en perigéo. 3° Que en las costas septentrionales, las maréas de las sizigias en verano son mas altas por la tarde que por la mañana, y en invierno mayores por la mañana que por la tarde.

Explicacion de los fenómenos. 583 Estas nociones manifiestan á primera vista, la estrecha dependencia que tienen las maréas con los movimientos de la Luna, y en cierto grado con los del Sol; por donde, aún sin saber cómo la causa obra, se hace claro desde luego, que la Luna y el Sol, y sobre to-

todo el primer astro, son el verdadero origen de las mareas. Conocida, pues, la ley de la atraccion, apliquemosla á buscar con sus efectos en las aguas, la explicacion de los fenómenos indicados: y aunque sea ciñéndonos al globo de las idéas generales, no podrá ménos de percibirse esta verdad con el último grado de evidencia.

584 Supongamos para esto: que la Tierra, formada de un globo sólido en reposo, esté cubierta hasta una cierta altura de un fluido homogéneo, raro y sin resorte, cuya superficie sea esférica: y supongamos además, que las partículas de este fluido pesan, como en efecto sucede, ácia el centro de la masa total, mientras que al mismo tiempo se hallan atraidas por el Sol y por la Luna. Es bien patente, que, si todas las partículas del fluido y del globo que cubren experimentásen una atraccion igual y segun direcciones paralelas, la accion de los dos astros no produciría otro efecto, que mover toda la masa del globo y del fluido, sin causar desarreglo alguno en la situacion respectiva de sus partes. Pero como, segun la ley de la atraccion, las partes del hemisferio superior, esto es, del mas próximo al astro, están atraidas con mas fuerza que el centro del globo, y las partes del hemisferio inferior, ó mas distante, con ménos fuerza que el mismo centro,

tro, no es ménos claro, que, aunque toda la masa se halle removida por la accion del Sol ó de la Luna, el fluido que cubre el hemisferio superior, como mas fuertemente atraido, debe tirar á moverse con mas velocidad que el centro; y elevarse, por consiguiente, con una fuerza igual al exceso de la potencia que le atrae sobre la que atrae el centro. Por la misma razon, el fluido del hemisferio inferior, ménos atraido que el centro del globo, debe tambien moverse ménos velozmente; y por consiguiente, huir, por decirlo asi, del centro, alejándose de él con una fuerza igual á la del hemisferio superior á corta diferencia. De aqui resultará, pues, que, acudiendo todas las partes á separarse del medio en direcciones opuestas y con velocidad tanto mas grande, quanto se hallan mas próxîmas al astro superior, el fluido al fin quedará elevado respecto al centro en los dos puntos opuestos de la línea que pasa por el Sol ó Luna, y su superficie formará en el mismo sentido un esferoide longo.

585 Este raciocinio manifiesta claramente, por qué la mayor elevacion y descenso de las aguas sucede á los mismos instantes en los puntos opuestos de un mismo meridiano. Verdad que no parece facil de concebir á primera vista, pero que se hallará precisa segun estos principios.

Tam-

586 Tambien se vé que el movimiento de las aguas, ó, á lo ménos, el que nos es sensible y no es comun con toda la masa del globo terrestre, no procede del efecto total del Sol ó de la Luna, sino de la diferencia que resulta entre la accion del astro en el centro de la Tierra y la accion en el fluido tanto superior como inferior. Esta diferencia es, pues, la que llamarémos simplemente *accion*, *fuerza ó atraccion* en las explicaciones siguientes.

587 Probado ya, que la superficie del océano debe mudarse en la de un esferoide longo dirigido al astro que lo atrae, se ocurre como preciso para el rigoroso cálculo de las maréas, averiguar qual es la naturaleza de este esferoide. Mr. Mac-Laurin exâmina esta qüestion, tomando en consideracion los efectos de la rotacion diurna, y en su Memoria citada prueba elegantemente la siguiente proposicion: *Que supuesta la Tierra un fluido homogéneo, cuyas partes se atraigan mutuamente y sean atraidas además por el Sol ó por la Luna, segun las leyes ordinarias de la gravitacion; este fluido, girando al rededor de su exe con una velocidad qualquiera, tomará necesariamente la forma de un esferoide elíptico.* Asi lo supondrémos en adelante, llamando elipsoide al actual cuerpo en que se contraen las aguas.

588 Pero, ántes de pasar adelante, es necesa-

sario notar: que aunque el Sol y Luna producen un elipsoide, y por consiguiente un fluxo y refluxo cada uno, tanto por los mismos fenómenos de las maréas, como por otras observaciones, consta, que la accion de la Luna para elevar las aguas del Océano es mucho mayor que la del Sol. La inmensidad de la distancia del último luminar disminuye en este grado el efecto de su enorme masa. Y de aqui resulta, que, aunque en el curso de cada dia natural haya dos fluxos y refluxos dependientes de la accion del Sol, como en cada lunar otros dos que dependen de la accion de la Luna, y que todas estas maréas sean efectos producidos segun las mismas leyes, las que causa el Sol son mucho menores que las causadas por la Luna. Si este exceso fuese como infinito, esto es, si la Luna tuviese infinitamente mas fuerza que el Sol, la pleamar corresponderia precisamente á los pasages de la Luna por el meridiano; pero como segun las observaciones, estas fuerzas son entre sí comparables, aunque el tiempo de la pleamar tenga una relacion mas inmediata con la Luna que con el Sol, debe depender de los pasages de ambos astros por el meridiano. Por tanto, combinando las dos acciones, es bien claro, que las alturas de las aguas en el mismo lugar deben estar sujetas á grandes variedades, tanto en las horas

como en las cantidades: y esto, segun las posiciones del Sol y de la Luna respecto á dicho lugar.

589 Prosigámos ahora la explicacion de los fenómenos (584). Segun lo visto, las aguas deben elevarse al mismo tiempo en el lugar de la Tierra que está directamente debaxo de la Luna ó Sol, y en el que se halla diametralmente opuesto; y asi las mismas aguas deberán descender á 90° de estos puntos. Por consiguiente, como en las conjunciones de Sol y Luna ambos astros pasan al mismo tiempo por la parte superior del meridiano, y que en las oposiciones uno pasa por la parte superior quando el otro por la inferior, se vé, que en uno y otro caso, las dos acciones contribuyen al mismo tiempo á elevar las aguas del Océano. Al contrario, como en las quadraturas los dos astros se hallan á 90° de distancia, el agua elevada por el Sol se halla entonces reprimida por la Luna, y recíprocamente; y de aqui se sigue, que las dos acciones, que contribuyen á producir el mismo efecto en las primeras circunstancias, tiran á producir efectos contrarios en las últimas. Por lo qual, supuestos los casos iguales en los demas respectos, las mayores maréas deben suceder en las sizigias, y las menores en las quadraturas.

590 Atendiendo al mismo principio, se perci-

cibe desde luego, por qué las maréas de los novilunios pueden ser algo mas considerables que las de los plenilunios. En el primer caso, ambos astros pasan al mismo tiempo por la misma parte del meridiano, y se vé que la Luna se halla siempre mas próxîma á las aguas superiores que al centro, y mas próxîma al centro que á las aguas inferiores; de donde resulta, que la primera diferencia debe producir un efecto (586) algo mayor que la segunda.

591 En quanto á las horas en que deben verificarse las maréas fuera de las sizigias y quadraturas, es claro, que dependen de la combinacion de las maréas particulares que proceden de las dos acciones lunár y solár, separadamente. Estas dos maréas, que se confunden en la observacion, hacen que los dos elipsoides, colocados obliqüamente entre sí, produzcan la mayor elevacion á una cierta distancia ácia el Sol del lugar que cae inmediatamente debaxo de la Luna, y que esta mayor elevacion sea menor que la única que produciría la accion sola de la Luna. De donde resulta, que, quando la Luna corre de las sizigias á las quadraturas, la pleamar que observamos debe suceder al occidente de la Luna, esto es, preceder de un cierto interválo su pasage por el meridiano: y lo contrario, quando la Luna corre de las quadraturas á las

sizigías. En la Memoria de Mr. Bernoulli se hallan elegantes fórmulas algebráicas que determinan estas diferencias, segun las posiciones de los dos astros: y Mr. de la Lande nos ha dado en su Astronomía un método indirecto, pero mucho mas cómodo para el mismo cómputo. La Memoria de Mr. Bernoulli contiene además dos tablas calculadas por sus fórmulas, para hallar las horas y alturas de las maréas que convienen á las diferentes elongaciones de la Luna en el perigéo, apogéo y distancias medias de la Luna.

592 En las regiones circumpolares la Luna se mantiene casi á la misma distancia del zenit en el interválo de una rotacion diurna, y el elipsoide gira sin elevarse sensiblemente en una hora mas que en otra. Por lo qual en el polo no hay maréa diurna.

En virtud del movimiento diurno, la Luna pasa igualmente por los meridianos orientales ántes que por los occidentales; y asi el fluxo deberá suceder ántes en los primeros.

593 El movimiento general que tiene el mar del éste al oéste entre los trópicos procede del mismo origen, aunque no sea tan facil su explicacion sin cálculo. El fluxo sigue constantemente el curso de la Luna de oriente ácia occidente, y todo el Océano participa de este movimiento, acumulando ácia

ácia occidente una gran cantidad de agua. Asi, el refluxo no parece que se verifica en sentido contrario, sino por la menor cantidad de agua que entonces acude ácia occidente: y de este modo, como nota Mr. de Buffon, el fluxo debe mirarse como una hinchazon, y el refluxo como una depresion de las aguas, la qual, lejos de alterar el movimiento del éste al oéste, lo produce y hace continuo, aunque en el primer caso sea mas considerable.

Mr. d' Alembert, en sus reflexîones sobre la causa de los vientos, halla por el cálculo: que un fluido que cubriese toda la Tierra debe tener un movimiento continuo del éste al oéste. Mr. Mac-Laurin, en la Memoria susodicha, considera tambien los efectos de la rotacion diurna de nuestro globo, para explicar las corrientes, por su combinacion con los de las maréas. Pero Mr. Daniel Bernoulli, en su Memoria sobre las corrientes, aunque se inclina á creer que ciertas corrientes particulares puéden ser efectos del fluxo y refluxo, desecha aquella explicacion del movimiento del éste al oéste como poco natural é insuficiente, sin el auxîlio de otras hipótesis del todo vagas.

594 Segun el mismo principio y haciendo abstraccion de la accion solar, es claro, que la pleamar debería verificarse en el instante del pasage de

la

la Luna por el meridiano, si las aguas no tuviesen una fuerza innata por la qual conservan la impresion que han recibido. Pero exîstiendo esta fuerza en las aguas, como en todos los cuerpos en movimiento, resulta por precisa conseqüencia, que su efecto ó accion debe atrasar la hora de la maréa y disminuir en general la elevacion de las aguas.

Para demostrarlo: supongamos la Tierra en reposo, y considerémos la atraccion lunar únicamente. Es claro, que alejándose las aguas en el lugar que cae debaxo de la Luna, el elipsoide del Océano se dirigirá á este astro. Supongamos, pues, que en este estado la Tierra principia á girar sobre su exe. Por una parte este movimiento de rotacion es muy veloz respecto al movimiento de la Luna, y por otra el agua, que fue elevada por la Luna y que gira con la Tierra, en virtud de su fuerza innata tira á conservar quanto es posible la elevacion adquirida, aunque alejándose de la Luna tambien tire á perder una parte de esta altura. De esta contrariedad resultará, que el agua, transportada con el movimiento de la Tierra, se hallará mas elevada de lo que debería sin este motivo al oriente de la Luna, pero ménos elevada de lo que hubiera estado debaxo de la Luna si la Tierra hubiese continuado inmovil. Por lo qual, el movimiento diurno

de

de la Tierra debe en general atrasar la maréa, y disminuir la elevacion de las aguas.

595 Esta fuerza innata combinada con la friccion que las aguas experimentan en el fondo del mar, la adherencia de sus partes que resisten la separacion, las oposiciones de los baxos, islas, continentes &c. son otras tantas causas que, impidiendo al Océano el tomar inmediatamente la figura y altura que exîge la de las maréas, hacen diferir las observaciones de la teórica. Atendiendo á estas circunstancias, se vé, que los atrasos de las maréas deben ser muy variables segun las circunstancias de los diferentes parages: y que sus cantidades deben deducirse de las observaciones. La mayor parte de estas indican con bastante conformidad, que, en los mares libres, el exe del elipsoide está siempre dirigido como 30° al oriente de la Luna ó del punto que determina la teórica, pero esta diferencia es mucho mayor en los mares embarazados.

596 De esta suposicion resulta, que, generalmente (581), el intervålo que divida el pasage de la Luna por el meridiano y la pleamar debe ser de ménos de dos horas, quando la Luna se mueva de las sizigias á las quadraturas. Pues, si por una parte la consideracion de la inercia determina aquel intervålo, por otra el influxo del Sol debe disminuir-

nuirlo. Al contrario, y por la misma razon, quando la Luna corra de las quadraturas á las sizigias, el instante de la pleamar debe seguir de mas de dos horas el pasage de la Luna por el meridiano.

597 La efectiva altura del fluxo en los mares libres es tambien menor que la que daría la teórica, fundada en la hipótesis mas favorable en quanto á las densidades de la Tierra, que evidentemente deben tener un grande influxo en los fenómenos de las maréas. Mr. Bernoulli (pag. 181), por exemplo, creyendo que en la mar del Sur las maréas no podian ménos de llegar casi á toda la altura que tendrían si estuviese inundado el globo entero, las supuso de 8 pies baxo el equador en las mayores maréas de las sizigias: quando, segun las observaciones mas exâctas, no tiene duda que las maréas son mucho menores en los mares grandes, donde no hay costas contra las quales se acumule el agua.

598 Los fenómenos resultan bien diferentes en los mares cortados; y asi se vé, que en las costas de los grandes continentes las maréas son muy considerables. Estos casos tambien varían, segun la disposicion particular de los obstáculos extraños: y se hace evidente, que mudando las aguas de curso al encuentro de las tierras, acaudalándose dentro de

los

los golfos, encontrándose al paso por los estrechos &c. pueden subir á una altura extraordinaria. Nadie ignora el efecto de estas causas en las maréas de San-Maló, donde se experimentan de 45 pies (de rey), y mas quando el viento contribuye á retener el agua sobre la tierra.

599 Estas circunstancias varían tambien el regular atraso de la hora considerablemente. La friccion, que crece con los embarazos y la distancia, produce en los tiempos de las maréas ciertas diferencias que forman en cada parage una excepcion particular á las leyes generales de la teórica. Esta diferencia, que debe averiguarse por observacion, es sobre todo notable en los rios que desembocan en el mar grande; pero aún dentro del espacio de los puertos se hace bien sensible: como sucede en Cádiz, donde la maréa en las Puercas precede de una media hora la del muelle, y asi en adelante.

600 La fuerza innata es tambien la causa, de que la mar, despues del fluxo y refluxo, esté algun tiempo sin subir ni baxar; pues las aguas tiran á conservar el estado de reposo y de equilibrio en que se hallan al momento de la pleamar y baxamar, y el movimiento de la Tierra, variando la situacion relativa de estas aguas á la Luna, muda tambien la accion del astro en ellas, tirando á ha-

cerles perder el equilibrio: cuyos efectos se destruyen mutuamente durante algunos instantes. Á esta causa deben tambien añadirse, la tenacidad de las aguas, y los obstáculos de diferentes especies que deben en general retardar su movimiento é impedir que lo tomen desde luego, esto es, que pasen bruscamente del estado de elevacion al de descenso.

601 Por la misma razon que la inercia y equilibrio de las aguas, conservando algun tiempo la impresion recibida, producen aquel atraso en las horas de las maréas, sucede que las mayores maréas tampoco se verifican precisamente en la conjuncion y oposicion de la Luna, ni las maréas menores hasta despues de las quadraturas. Este atraso es generalmente de 36 horas: de modo, que el estado de las maréas es el que debería verificarse dia y medio ántes, si el Océano tomáse desde luego el estado y la figura que convienen á las actuales acciones del Sol y de la Luna. Á este fenómeno puede tambien contribuir, que, llegando las fuerzas á su máxîmo en las sizigias, varían muy poco en las cercanías de estos puntos; y que asi, la impresion que comunicaron al Océano continúa en las 36 horas siguientes: resultando de aqui, que, aunque la fuerza haya ya principiado á disminuir, el efecto aumente todavia.

Con-

Considerémos ahora los fenómenos de las maréas respecto á las diferentes latitudes.

602 Suponiendo que la Luna y el Sol corren el equador, no tiene duda, que los vértices de ambos elipsoides describirán la equinoccial terrestre; y que, por consiguiente, los lugares que carecen de latitud, experimentarán las mayores maréas en los tiempos de los equinoccios. Este fenómeno se ha generalizado comunmente, haciendo concurrir en las mismas épocas las máxîmas maréas de todo el globo. Pero es facil conocer, que la pura teórica desembarazada de toda hipótesis arvitraria no favorece esta opinion, ó por mejor decir la destruye totalmente. Para manifestar la verdad: supongamos, que el Sol y la Luna se apartan del equador de la misma cantidad y en el mismo sentido sucesivamente, y se concebirá, que el vértice del elipsoide irá tambien acercándose al polo y corriendo paralelos menores cada dia, hasta llegar al trópico. Durante este progreso, las alturas del Océano tambien irán creciendo, no solamente en los paises de la zona tórrida que se hallan debaxo de los astros y experimentan su mayor maréa quando la declinacion de los astros es igual á la latitud geográfica, sino en los de la zona templada á que se vá aproxîmando el vértice del elipsoide: de modo que, segun estos

principios, las máxîmas maréas de estas regiones deberán verificarse en los solsticios. Para satisfacer, sin embargo, á la opinion general de las maréas equinocciales, se ha procurado modificar la teórica con la introduccion de algunas consideraciones particulares; pero Mr. de la Lande, tirando á descubrir la verdad sin preocupaciones, eligió el camino seguro de consultar las experiencias, y de resultas cree poder concluir, despues de haber discutado el asunto con gran tino: *Que los vientos occidentales, que reynan con freqüencia en los meses de Marzo y Septiembre, empujan las aguas y aumentan las maréas sobre nuestras costas; pero que, sin embargo, las hay aún mas considerables en invierno.* Por consiguiente, estas grandes maréas que suceden ácia los tiempos de los equinoccios no son efectos de las atracciones del Sol y de la Luna, ni forman excepcion ó contradicen las reglas generales que resultan de la teórica newtoniana.

603 En las dos maréas consecutivas se notan tambien diferencias, segun las latitudes y posiciones de los astros ácia uno ú otro polo. Considerémos la Luna corriendo un paralelo entre el equador y un lugar qualquiera. Á su pasage superior por el meridiano, la distancia de la Luna al zenit del lugar será igual á la latitud del mismo lugar ménos la de-

cli-

clinacion del astro: y á su pasage inferior, la distancia del astro al nadir será igual á la suma de ambas cantidades. Al contrario: si suponemos la Luna al lado opuesto del equador, con una declinacion menor que la latitud del lugar, la distancia del astro al zenit en el pasage superior será igual á la suma, y en el inferior á la diferencia de dicha declinacion y latitud geográfica. El vértice del elipsoide aqüeo pasará, pues, á las mismas distancias del lugar, segun las circunstancias; y de aqui resulta, por regla general: que la diferencia entre las alturas de las dos maréas consecutivas del mismo dia aumentan con la proxîmidad al polo, respecto á la altura absoluta de cada una, aunque la altura absoluta disminuye al mismo paso.

604 Por las consideraciones anteriores, se deduce claramente, que las maréas de las tardes, esto es, las que siguen el pasage superior del Sol por el meridiano, son mas altas que las de la mañana en las sizigias de verano, y mas baxas en invierno.

605 Las diferencias que, segun estas y otras circunstancias, se observan en las dos maréas consecutivas no son, sin embargo, tan grandes como la teórica lo exîge: y esta diferencia, que es muy considerable, aunque no bastante para hacer dudar de la causa, ha hecho siempre la explicacion algo incom-

completa. Mr. Daniel Bernoulli dá salida á esta dificultad, considerando que las alteraciones procedentes de la rotacion de la Tierra son demasiado veloces, para que las aguas, que tiran á conservar su movimiento recíproco como un péndulo simple, puedan seguir todas las circunstancias que demuestran los principios. Asi, si las dos maréas de un mismo dia debian ser muy diferentes segun las diversas acciones de la Luna, la mas alta aumenta la mas baxa; y ésta disminuye la otra, de modo, que entre sí son mucho ménos desiguales de lo que serían sin esta razon. Mr. de la Place últimamente, no contento con esta explicacion general, ha procurado resolver la dificultad por el cálculo rigoroso: y, atendiendo á las oscilaciones y resistencia de las aguas, ha perfeccionado la conformidad de la teórica con las observaciones.

606 En los fenómenos que hasta ahora hemos explicado, considerando las distancias relativas de los astros, es claro, que tambien deberán influir sus distancias absolutas á la Tierra: y que, á conseqüencia de la ley de la atraccion, las maréas, supuestas las demás circunstancias iguales, llegarán á mayor altura quando la Luna y el Sol se hallen mas próxîmos. Por tanto, no es extraño, que las maréas que ocurren en el perigéo de la Luna sean constan-

te-

temente más considerables que las del apogéo, y tanto, que la elevacion de las aguas en las quadraturas lleguen á igualar por esta causa las de las sizigias. Por la misma razon, como el Sol se halla perigéo entonces, las maréas del solsticio de invierno deben exceder las del solsticio de verano, aunque esta diferencia sea muy leve en comparacion de la otra.

607 Esta es la explicacion de los principales fenómenos de las maréas. Á su regularidad y conformidad se oponen todos los obstáculos extraños que pueden alterar el libre curso de las aguas, las diferentes profundidades del Océano &c. y asi, para dar razon de los efectos particulares, es necesario tener un exâcto conocimiento de las desigualdades y circunstancias de las costas, anchura y profundidad de los canales, disposicion de los baxos &c. La presencia de estos datos hace distinguir las modificaciones que ocasionan, y á qualesquiera le será facil, por su combinacion, deducir las explicaciones particulares, como corolarios de los principios generales.

Las siguientes nociones sobre las famosas y extraordinarias maréas de Tunquin podrán servir de exemplo, para manifestar las singularidades que resultan de las circunstancias locales, y el uso de

los

los principios para demostrarlas.

608 En el puerto de Batshan de dicho reyno, situado en 20° 50′ de latitud boreal (segun la relacion de Mr. Davenport en las Transacc. filosóf. de 1684 num. 162), solo se observa un fluxo y un refluxo que se verifican en 24 horas. Quando la Luna está en el equador ó próxîma, la maréa es nula, y el agua se mantiene inmovil: pero quando la Luna principia á tener cierta declinacion, la maréa única principia tambien á percibirse, y llega á su mayor altura, quando el mismo astro se aproxîma á los trópicos. Con esta diferencia, que, siendo la declinacion norte, la maréa sube mientras la Luna permanece sobre el horizonte, y desciende mientras la Luna está debaxo, de modo, que la pleamar sucede al ponerse, y la baxamar al salir la Luna: y que, quando la declinacion es sur, la pleamar sucede al salir, y la baxamar al ponerse la Luna, de modo, que las aguas se retiran durante todo el tiempo que la Luna está superior al horizonte.

609 Newton ha insinuado, que la causa de estas particularidades resulta del concurso de dos maréas, de las quales, la una viene del gran mar del Sur siguiendo las costas de la China, y la otra del mar Indio. Como la primera de estas maréas procede de lugares septentrionales, debe ser mayor

(603) quando la Luna se halla al norte del equador sobre el horizonte que quando está debaxo: y por la misma razon, como la segunda maréa viene de lugares meridionales, deberá ser mayor quando la Luna declina ácia el sur y se halla sobre el horizonte, que quando está debaxo. De modo, que de estas maréas alternativamente mayores y menores, debe haber siempre dos grandes y dos cortas cada dia.

Segun este orden, igualándose los fluxos alternativos con la proxîmidad de la Luna al equador, el agua queda sin movimiento, y la maréa cesa. Pero, pasando la Luna á la otra parte del equador y viniendo á ser con esto mas considerables los fluxos que ántes eran menores, el tiempo en que sucedian ántes las elevaciones debe ser ahora el de los descensos, y al contrario. Por donde se vé, que todos los fenómenos de esta maréa singular se explican naturalmente y sin forzar la menor circunstancia por los principios generales. Mr. Euler, empleando el cálculo, demuestra tambien al fin de su Memoria, que los fenómenos deben verificarse, en tal caso, como manifiestan las observaciones.

610 Las maréas de las Filipinas son, sin duda, aún mas extraordinarias, segun algunas observaciones: y á la primera vista de aquel Archipiélago

go se percibe, que, en efecto, las leyes generales deben experimentar muchas modificaciones en sus circunstancias particulares. Sin embargo, como las observaciones que conocemos no son bastante numerosas ni exâctas para compararlas con fruto á la teórica, juzgamos inútil indicar sus particularidades: y solo hacemos mencion de ellas, para manifestar nuestro deseo de que las sucesivas experiencias nos pongan en estado de añadir esta confirmacion á la certidumbre de los principios generales.

611 Segun ellos, en los mares cortos y separados las maréas deben ser muy inconsiderables ó insensibles, como acreditan las observaciones. Bernoulli ha demostrado por el cálculo, que las alturas á que suben las maréas en los mares cortos son proporcionales á la extension de estos mares de occidente á oriente. De donde resulta, que como en el vasto y profundo Océano los dos luminares solo elevan las aguas de muy pocos pies, en el mar Caspio, por exemplo, que solo es un gran lago, las elevaciones deben ser bien insensibles. Lo mismo, á corta diferencia, puede decirse del Mediterráneo, cuya comunicacion con el Océano se halla casi cortada en el estrecho de Gibraltar; y aunque en el fondo del golfo de Venecia las maréas sean mas sensibles y regulares, es claro, que esto procede de la

fi-

figura del mismo golfo, que encaña y hace elevar las aguas.

Hallar la hora de la maréa. 612 Por las nociones antecedentes se vé, que las maréas ofrecen una gran variedad de circunstancias: de las quales, unas pueden sujetarse al cálculo, y otras solo averiguarse por experiencia.

613 En las primeras se comprehenden los atrasos ó anticipaciones, que proceden de la accion solár en la hora de la maréa respecto al pasage de la Luna por el meridiano; pues, conociendo, por los mismos efectos de las maréas, la relacion entre las fuerzas de los luminares, de su combinacion resultan las cantidades que convienen á las diferentes posiciones. Estas cantidades son las que indica la tabla de Mr. Bernoulli, calculada en la suposicion de que la razon media entre las fuerzas de la Luna y el Sol sea la de 5 á 2.

614 Pero como, siguiendo el efecto á la causa, el estado de las maréas es siempre, segun hemos indicado, el que convendría á la posicion en que estuvieron los astros como dia y medio ántes (601); el argumento de la tabla debe adaptarse á la observacion, aplicándole la variacion que experimenta en el mismo intervalo. Por esta razon, Mr. Bernoulli, que en su primera tabla hace concurrir el o del ar-

gumento, esto es, de la distancia entre los luminares supuestos en el equador, con el o del intervalo entre el pasage de la Luna por el meridiano y la pleamar, en la segunda aumenta de 20° todos los números del argumento, para satisfacer á las observaciones.

615 Entre las segundas circunstancias deben contarse, el efecto de la inercia que atrasa la hora de la maréa (594) hasta en los mares libres, la situacion particular del puerto, su profundidad, su comunicacion con el mar grande, la inclinacion de su fondo y del cercano &c. Pero, como estas circunstancias continúan invariables, puede tambien suponerse que el efecto que resulta es el mismo en todas las maréas; y asi, observando qual es el atraso de la pleamar en las sizigias, se tendrá igualmente sabido para las demás situaciones de la Luna, á corta diferencia. Esta suposicion, es ciertamente poco exâcta; pero la naturaleza del caso no dexa otro recurso: y observada con exâctitud la cantidad del atraso medio, los resultados de la teórica corresponden bastante bien con las maréas.

616 Esta correccion, ú hora en que se verifica la pleamar en las sizigias, es lo que se llama *hora ú establecimiento del puerto*: la qual, como se vé, varía segun la situacion de los lugares. El estableci-

cimiento es aún variable en el mismo lugar, segun las horas á que sucede la sizigia; y asi, para sentár una regla fixa que asegure la uniformidad de las experiencias y exâctitud de las comparaciones, convendrá, como aconseja Mr. de la Lande, arreglarse en lo futuro al novilunio que sucede al medio dia, y tomar la hora de la maréa siguiente por el establecimiento del puerto.

617. Además de las causas expresadas, deben tambien considerarse los vientos y corrientes irregulares que hacen las maréas inciertas, y cuyo conocimiento sería necesario, para anunciar con exâctitud todas las circunstancias de estos fenómenos. Pero, como las mismas causas no están sujetas á una ley constante, sus efectos particulares solo pueden conocerse quando suceden, y toda tentativa para enlazarlos en una série regular sería inútil. Asi, lo que debe hacerse en esta parte es recurrir á las observaciones, para determinar por comparaciones prudentes los límites de la incertidumbre, segun los tiempos, estaciones y otras circunstancias.

618. *El cálculo de la hora á que debe suceder la pleamar en un puerto y dia qualesquiera se reduce, pues, á las operaciones siguientes:*

Búsquese la hora del pasage superior ó inferior de la Luna por el meridiano (esto se practicará facil-

cilmente por las efemérides), y añádase al establecimiento del puerto; la suma será la hora aproxîmada que se busca.

619 Pero como esta aproxîmacion es capáz de cerca de una hora de error en algunas circunstancias: Tómese en la tabla de Mr. Bernoulli la correccion correspondiente á la elongacion de la Luna en el instante de su pasage por el meridiano; y aplicándola á la primera cantidad, segun convenga, resultará la hora exâcta de la maréa.

620 En nuestra coleccion darémos algunos exemplos con la misma tabla, y la calculada por Mr. de la Caille por los mismos principios, la qual, teniendo por argumento el intervâlo de tiempo entre la fase de la Luna y la maréa, es mas cómoda para la práctica.

621 Si tampoco se tuviese esta tabla, ó no fuese necesaria tanta exâctitud, la hora de la maréa podrá siempre hallarse, aunque con mucho error, por la siguiente regla en que solo se considera el efecto medio de la Luna (594):

Añádase el establecimiento del puerto al producto de 48′ ó $\frac{4}{5}$ de hora por el número de dias pasados desde el novilunio ó plenilunio antecedente, ó lo que es lo mismo y será mas cómodo, si la sizigia siguiente está mas próxîma: réstese el producto de

de $48'$ por los dias que faltan para el novilunio ó plenilunio siguiente del establecimiento del puerto, aumentado de 12 horas en caso necesario; y la suma ó resta dará el tiempo de la pleamar que se busca.

El dia de la sizigia podrá á este fin hallarse facilmente por las efemérides, por las tablas de Mr. de la Caille insertas en la Navegacion de Mr. Bouguer y en otros Tratados, ó ménos exâctamente por la regla dada P. C. 34.

DE LAS CORRIENTES.

622 Llámase *corriente*, en general, á una cierta cantidad de agua que se mueve segun una direccion qualquiera.

623 En la Navegacion aquel nombre significa particularmente, el movimiento horizontal y progresivo que tiene el agua del mar en diferentes parages, sea en toda su profundidad, sea hasta cierta distancia de la superficie.

624 Las corrientes pueden distinguirse, en naturales y generales, y accidentales y particulares. Las primeras, como la corriente equinoccial, son las que proceden de alguna causa constante: y las segundas, las que proceden de causas variables, como los vientos irregulares, &c.

El

625 El conocimiento de las corrientes es uno de los asuntos mas importantes de la Navegacion; pero las observaciones y los adelantamientos hechos en los medios de practicarlas están bien lejos de habernos producido hasta ahora todo el que necesitamos. Las siguientes nociones se dirigen únicamente á dar alguna noticia de las corrientes mas considerables y de su naturaleza.

626 Las corrientes principales son: 1° La corriente equinoccial, esto ès, el movimiento que tiene todo el Océano entre los trópicos del éste al oéste, corriendo de 2 á 3 leguas marinas cada dia. 2° En el estrecho de Gibraltar al éste. 3° En las Antillas y particularmente en el canal de Bahama, por donde desembocan todas las aguas que, entrando de oriente en aquel archipiélago, hieren las costas de la peninsula de Yucatan y Reyno de México, y tienen que volverse ácia el norte en este encuentro. Esta corriente, la mas rápida del Nuevo Mundo, es bien conocida de todos nuestros navegantes. 4° En el estrecho de Magallanes, donde algunos pretenden que hay dos corrientes opuestas. 5° En el mar Pacífico sobre las costas del Perú, del sur al norte. 6° Cerca de la Guinéa, desde cabo Verde hasta la bahía de Fernando del Pó, de occidente á oriente. 7° Entre el cabo de Buena Esperanza y la isla de Ma-

Madagascar, y sobre todo, en las costas de Africa entre el mismo cabo y la tierra de Natal. 8° En las proxîmidades de Sumatra, del sur al norte. 9° En el mar de las Maldivas, durante seis meses de oriente á occidente, y durante otros seis en sentido opuesto. 10° En las Filipinas y Japon, al norte &c.

627 El Doctor Halley cree, que, además de aquellas corrientes que se nos manifiestan en la superficie, hay tambien otras corrientes baxas, esto es, otras corrientes que solo principian á cierta profundidad. Aquel sábio funda su dictámen en una observacion hecha en el mar Báltico: y de este modo explica, como por la corriente visible puede pasar tan gran cantidad de agua del Atlántico al Mediterráneo. Esto parece dificil de concebir en este caso; pero no es ménos cierto, que en otros varios podrá muy bien suceder que la superficie tenga un movimiento opuesto al de las aguas baxas. Por exemplo: las aguas acumuladas y elevadas sobre las costas orientales de la América que las retienen, deberán volver en sentido contrario, esto es, ácia oriente, por una contra-corriente próxîma al fondo del mar: estableciéndose asi una circulacion de las aguas del Océano, que entretienen un movimiento continuo. Mr. Bernoulli emplea esta especie de circula-

ciones, para explicar los fenómenos en su teórica de las corrientes.

628 En las corrientes, como en los vientos, no parece dudable, que, además de un número infinito de causas accidentales, hay algunas constantes ó regladas. Por exemplo: la corriente equinoccial procede evidentemente de la rotacion diurna de la Tierra. Asi lo ha manifestado Mr. d' Alembert (593) (en sus Reflexîones sobre la causa de los vientos que fueron coronadas en 1746 por la Academia de Berlin), considerando las oscilaciones de un fluido que cubriese la Tierra á corta profundidad, y que fuese atraido por el Sol ó por la Luna. Mr. Daniel Bernoulli (en la Memoria sobre la naturaleza y causa de las corrientes y el mejor modo de determinarlas, que ganó en 1751 el prémio de la Academia de las Ciencias de París) prescinde de los efectos del Sol y de la Luna, y explica los vientos reglados, por el retardo que debe resultar en el movimiento diurno de la atmósfera terrestre de la materia que la circunda: retardo que se comunica de capa en capa, desde los límites hasta la superficie de la Tierra; y que por la misma razon debe trascender á las aguas del Océano, produciendo una corriente continua ácia occidente, esto es, en el mismo sentido que los vientos reglados, como acredita la

ex-

experiencia. Este sentimiento, á la verdad, se halla expresamente refutado en el tratado de Mr. d' Alembert; pero, como nota el mismo Mr. Bernoulli, entre ambos sábios no hay mas que una diversidad de hipótesis física: y sobre todo, no es dudable que la explicacion de Mr. Bernoulli es enteramente conforme á las leyes de la Mecánica y á las experiencias físicas.

629 Algunas corrientes se dirigen en sentido opuesto al movimiento general del mar, esto es, ácia oriente. Las causas particulares y accidentales pueden ocasionar tales corrientes; pero siempre es de notar generalmente, que, como demuestra Mr. d' Alembert en la Memoria referida, el movimiento del éste al oéste, á cierta distancia del equador debe mudarse en un movimiento contrario, esto es, ácia el éste, ó á lo ménos en un movimiento que participe de esta direccion. Mr. Bernoulli cree tambien que las contra-corrientes podrán en ciertos parages adquirir la superioridad algunas veces, y aparecer en forma de corrientes; y asi se explican las que tiran al oéste en la costa de Guinéa &c.

630 En quanto al origen de las corrientes particulares, se vé, que, por razon de la mutua adherencia del ayre y agua, los vientos que impelen ó echan delante de sí una porcion de las aguas del

Océano que reemplazan otras : las variaciones del Barómetro, á cuyo descenso debe seguir la elevacion de las aguas en el mismo parage : las lluvias, rios &c. son otras tantas causas que pueden producirlas.

631 Nosotros no seguirémos estas particularidades : y, recomendando el excelente tratado de Mr. Bernoulli, sobre el asunto, terminarémos estas nociones con dos consideraciones que juzgamos importantes.

La una es : que, segun los principios de Mr. Bernoulli, las corrientes se extenderán rara vez hasta el fondo del mar, lo que, en dictamen de aquel gran geómetra, solo podrá suceder en los mares poco profundos. La otra es : que, asi como las tierras elevadas sobre el nivel del mar dirigen y mudan sensiblemente las corrientes, las que se hallan debaxo, ó en el fondo, no pueden ménos de producir el mismo efecto. Asi, el ilustre Mr. de Buffon, á quien debemos esta consideracion, atribuye sobre todo las corrientes á las desigualdades del fondo del mar, que modifican los efectos de las maréas y los vientos. Explicando con gran felicidad por la accion de las corrientes, la correspondencia de los ángulos de las montañas que se observa en todo el globo.

632 La observacion de las corrientes en la Mar ès asunto tan dificil como importante, por la ne-

necesidad de un término fixo de comparacion. Si un observador se halla en un sistéma cuyas partes se mueven todas igualmente, sin tener al mismo tiempo comunicacion directa ni indirecta con objeto alguno tomado fuera del sistéma, es evidente, que le será del todo imposible el percibir tal movimiento. Por consiguiente, si las aguas de la corriente se movieran desde la superficie hasta el fondo con una velocidad uniforme paralela y constante, la nave que nadase en ellas no podría absolutamente percibirla, mientras no tuviese alguna relacion con otro objeto fuera del sistéma comun de la corriente y nave, como la presencia de la tierra ó conocimiento del fondo.

Segun los principios adoptados, este no es el caso, y en general nunca puede verificarse. Las corrientes, lejos de ser las mismas en toda la profundidad del mar, son necesariamente muy desiguales: y pasado cierto término, las aguas inferiores están paradas. Ya se tiene, pues, un tercer término á que comparar el movimiento de la corriente, y tanto mas digno de considerarse, quanto es el único recurso que queda quando falta la sonda ó vista de las tierras.

633 Los Pilotos generalmente se valen de la Corredera para observar las corrientes, echándola des-

desde un buque grande ó embarcacion menor fondeada : la longitud del cordel dá la velocidad, y su direccion la de la corriente. Sobre esto es de advertir, que, aún quando la profundidad sea demasiado grande para echar el ancla, la sondaleza con el escandallo (que á este fin podría ser un anclita del mismo peso) podrá asegurar en la superficie una boyita fixa á que referir la medida de la Corredera. Las corrientes podrían asi determinarse á grandes profundidades, y por conseqüencia lejos de las costas. (1)

634 En alta mar, como término fixo, suele emplearse un botecillo asegurado á un cabo, en que se suspende un gran peso de fierro ú plomo que desciende á la profundidad de 80 á 100 brazas. Este método simple es, sin embargo, muy defectuoso: y para emplear las aguas paradas inferiores á la corriente, son indispensables muchas consideraciones geo-

(1) No es de omitir, que muchas veces la longitud de la sondaleza sobra para llegar al fondo, y con todo se cree que no lo hay; porque, siendo el cordel de una gravedad específica menor que el agua, llega á soltarse una porcion suficiente para compensar el mayor peso del plomo. Usando de otra materia para suspender el escandallo, podrán averiguarse con mas freqüencia las profundidades del mar y las corrientes.

geométricas, que podrán verse en la segunda parte de la Memoria de Mr. Bernoulli.

635 De todos modos, la medida de la Corredera desde el término fixo, solo hace conocer la corriente superficial. Para determinar el movimiento de las aguas á qualquiera profundidad, es necesario descender una bola de un diámetro y gravedad específica dada colgada á un cordel delgado, hasta la profundidad elegida. De la inclinacion del cordel se inferirá la velocidad de las aguas que empujan la bola, y la direccion del plano vertical del mismo indicará inmediatamente la del movimiento. Pero este método tambien exîge muchas discusiones geométricas que se encontrarán elegantemente tratadas en la Memoria de Mr. Bernoulli, cuya lectura recomendamos como indispensable en el asunto.

636 Con el auxîlio de un buen relox marino tambien podrán conocerse las corrientes, por la diferencia de la estima y las observaciones; pero este método nunca será bastante seguro, porque el uso de la Aguja y Corredera está sujeto á errores independientes de las corrientes.

DE-

DE LOS VIENTOS.

637 Dicese que hay *viento*, quando una cierta porcion del ayre de la atmósfera pasa de un lugar á otro, de modo que su movimiento nos es sensible.

638 Los vientos pueden dividirse en permanentes, reglados y variables: en generales, y particulares.

639 Los vientos *permanentes ó constantes* son los que soplan siempre de la misma parte. Tal es el viento oriental que reyna entre los trópicos, y que nuestros Pilotos llaman *briza*, los franceses *vent alizé*, y los ingleses *trade-wind*.

640 Los vientos *reglados ó periódicos* son los que vuelven constantemente en ciertos tiempos. Tales son los vientos llamados *monzones*, que en el mar Indio soplan algunos meses de una parte, y los demas del año de la opuesta.

641 Los vientos *variables* son los que soplan ya de una parte ya de otra, y que principian y cesan sin regla alguna respecto á los lugares ó á los tiempos. Tales son comunmente los vientos en nuestros climas.

642 El *viento general* es el que sopla de la mis-

misma parte en el mismo tiempo y sobre un espacio considerable de la tierra durante la mayor parte del año. El viento constante entre los trópicos es el único á que se dá este nombre.

Este viento tiene, sin embargo, sus interrupciones. En las tierras apenas se percibe, por los obstáculos de las montañas: y aún en la mar, cerca de las costas, tambien lo alteran los vapores, las exâlaciones y los vientos particulares de tierra: de modo, que solo puede considerarse general en alta mar, donde tambien está sujeto á los efectos de las nubes arrojadas de otras regiones.

643 En los *vientos particulares* se comprehenden todos los vientos ménos el general del éste. Los particulares á un pequeño espacio tambien se llaman *vientos tópicos*.

644 La historia de los vientos, que es de la primera importancia para los navegantes, está actualmente bastante conocida, aunque nos hallamos muy lejos del grado de perfeccion á que podemos aspirar en su teórica. Para adelantar nuestros conocimientos en esta parte, esto es, para predecir los diferentes fenómenos de la atmósfera, es necesario que las observaciones meteorológicas sean mas repetidas y comunes. Pero, mientras, el Piloto debe consultar las observaciones de los anteriores viageros,

y combinarlas respecto á las estaciones y demás circunstancias, para dirigirse por sus resultados generales. Este estudio es mas necesario de lo que puede parecer á primera vista, y el hacerlo con fruto exîge la consideracion y acopio de todos los materiales que puedan encontrarse.

645 El Doctor Halley, Mr. Muschenbroeck y otros nos han subministrado asi conocimientos muy útiles y curiosos en el asunto, de los quales, solo extractarémos los siguientes. Vease en particular el excelente capítulo sobre los meteóros aëreos del curso de Física de Mr. Muschenbroeck, donde este ilustre físico resume todo lo que ha podido recoger de los anteriores escritos.

Entre los límites de 30° latitud N, y 30° latitud S, en el océano Atlántico, mar Ethiópica, y océano Pacífico reyna continuamente el viento E, y nunca pasa del NE ó SE; pero de tal modo, que en el hemisferio meridional se inclina al sur, esto es, como al ESE, y en el septentrional al norte, como al ENE.

646 Atendiendo á este viento, todas las embarcaciones que salen de Europa para las Indias Occidentales y aún hasta Virginia, en lugar de seguir la distancia mas corta, dirigen el rumbo ácia el sur, hasta encontrar los vientos generales que las condu-



ducen con seguridad á sus destinos. Al contrario y por la misma razon, los que vuelven de América á la Europa procuran llegar quanto ántes á la latitud de 30° en que principian á variar los vientos, y continúan al norte hasta encontrar bien establecidos los de oeste.

647 Saliendo de los límites de 30°, que á cada lado del equador limitan los vientos generales, se encuentran inmediatamente vientos occidentales; pero en estos vientos se observa el influxo de las estaciones: de modo, que en el hemisferio del norte, quando el Sol se halla á la misma parte del equador, los vientos son generalmente del O al SO, y quando el Sol ha pasado á la otra parte del O al NO. Tales son los vientos que por la mayor parte se experimentan en el océano Occidental, entre la América Septentrional y la Europa. En el hemisferio meridional se observa lo contrario.

648 Como las causas particulares y obstáculos extraños (642) alteran el viento general, en todas las costas del Perú y de Chile, lo mismo que en las de la Cafreria, Angola y Biafara, reyna por lo comun el viento sur, y en las proxîmidades de la costa de Guinéa hay casi siempre SO.

649 El viento general toma mas del E, á proporcion que se aproxîma á las islas Caribes, y aún

penetra en el golfo de México. Pero en estos parages es inconstante, y en la mala estacion se experimentan torbellinos y vientos nortes duros, que son muy peligrosos para la navegacion.

650 Entre 4° y 10° de latitud norte, y entre el meridiano de Cabo Verde y mas allá de las islas, hay un pedazo de mar que parece condenado á perpetuas calmas acompañadas de truenos, relámpagos, lluvias y uracanes.

651 Los vientos periódicos, llamados *monzónes*, principian á experimentarse á 10° de latitud meridional. Entre este paralelo y el que está á 2° sur del equador, y las islas de Sumatra, Java y Madagascar, el viento SE reyna desde Mayo ó Junio hasta Noviembre, y el NO en los demas meses.

652 En el espacio entre Sumatra y la costa de Africa, y desde 3° de latitud sur hasta las costas del Asia, inclusos el golfo Arábigo y bahia de Bengala, la monzón reyna al NE desde Septiembre hasta Abril, y al SO en el resto del año.

653 Entre la isla de Madagascar y la costa de Africa al norte hasta el equador hay un espacio, donde desde Abril hasta Octubre reyna constantemente el viento SSO fresco: el qual ácia el norte varía al OSO, que entonces sopla en el mar Arábigo.

Al

654 Al éste de Sumatra y Malacca y al norte del equador, entre las costas de Cambodia y China, y las islas de Bornéo y Filipinas hasta el Japon, la monzón es al N, inclinándose algo al E, desde Octubre ó Noviembre hasta Abril ó Mayo, y al S, tomando algo del O, en los demás meses. Los vientos en estos parages no son del todo tan ciertos como los del mar arábigo é indio.

655 Entre Sumatra y Java al oéste, y Timor la Nueva Holanda y la Nueva Guinea al oéste, se experimentan monzónes semejantes; pero la de los primeros seis meses se inclina al NO, y la otra al SE. Estos vientos principian un mes ó seis semanas despues que los del mar chino y son tan variables.

656 Todas las navegaciones en los mares Indio y Oriental deben arreglarse á estas monzones; pero sus variaciones no son repentinas, y en las alternativas siempre median calmas, vientos variables, y aún tormentas fuertes.

657 Tambien hay vientos de mar y tierra, que nuestros Pilotos llaman *virazónes y terráles*: los quales se suceden con bastante regularidad en todo el curso del año. La virazón generalmente sopla en el dia, y el terrál por la noche; pero con muchas variedades, procedentes de las posiciones de las costas, lluvias &c.

Cau-

Causa física de los vientos. 658 Entre las diferentes explicaciones de los vientos, la adoptada generalmente es la del Doctor Halley. Este sábio buscó la causa física de los fenómenos en la accion de los rayos del Sol en el ayre y en el agua, durante el continuo pasage de este astro sobre el Océano, combinada con los efectos de la naturaleza del terreno y situacion de los continentes próxîmos. Y la idéa general de su explicacion es como sigue.

659 Segun las leyes de la Estática, el ayre ménos rarificado por el calor, y por consiguiente mas pesado, debe moverse ácia el que está mas rarificado, y que por la misma razon es mas ligero. Asi, como la Tierra, rotando sobre su exe, presenta sucesivamente todos sus meridianos al Sol, la parte sobre la qual ha pasado ya el Sol contiene un ayre mas caliente y mas rarificado que el que está al oriente, y éste indispensablemente debe moverse ácia occidente; resultando asi el viento perpetuo que reyna entre los trópicos, donde la rarefaccion es mas considerable.

660 Del mismo principio se sigue, que el viento éste debe inclinarse al norte en las regiones del hemisferio septentrional, y al sur en las del opuesto. El ayre en el equador está mucho mas rarificado que en qualquiera otro parage; porque el

Sol

Sol pasa alli dos veces al año, y nunca se aleja del zenit mas de $23^{\circ}\frac{1}{2}$, y que en los trópicos se halla un tiempo considerable á 47° de distancia. Esta lejania constituye una especie de invierno, durante el qual, el ayre se enfria bastante para que el calor del verano no pueda darle el mismo grado de movimiento que baxo el equador; y de aqui procede, que el ayre del norte y sur ménos rarificado deberá siempre inclinarse al medio.

661 La combinacion de este movimiento con el viento general del éste basta, como se vé, para dár razon de los fenómenos de los vientos generales. Estos soplarían sin cesar, y del mismo modo alrededor del globo, si toda su superficie estuviese cubierta de agua como el océano Atlántico y Ethiópico. Pero como la mar está cortada por grandes continentes, para hacerse cargo de los fenómenos particulares, es indispensable atender á la naturaleza del terreno y á la posicion de las montañas altas, que son las dos causas principales que pueden alterar las reglas generales de los vientos.

662 Es bien claro, por exemplo, que en un terreno baxo y arenoso, como nos dicen que son los desiertos del Africa, los rayos del Sol calentarán el ayre, de modo, que resulte una continua corriente, ácia aquella parte. Á esta causa puede atribuirse

se el viento de las costas de Guinéa, que es oéste y no éste.

663 No es mas dificil explicar las calmas constantes que reynan en algunos parages del medio del Atlántico. En este espacio, igualmente expuesto á los vientos generales del éste, y á los del oéste de la costa de Guinéa, el ayre no tiene mas tendencia ácia un lado que ácia otro, y por consiguiente queda en equilibrio.

664 Las lluvias freqüentes de estos parages se explican con igual facilidad, atendiendo á que la atmósfera disminuye de peso, por la oposicion que hay entre los vientos; y que asi, el ayre no puede retener los vapores que recibe.

665 Como el ayre frio y denso debe, por el exceso de su pesadéz, oprimir el ayre caliente y rarificado, este último debe elevarse por una corriente continua proporcional á su rarefaccion: y despues de elevado, esparcirse, formando una corriente contraria para llegar al equilibrio. De modo, que, por una especie de circulacion, al viento general NE deberá seguir un viento SO.

666 Las mutaciones casi instantáneas que se experimentan en el viento de una direccion á la opuesta, quando se llega á los límites de los generales, confirman esta hipótesis, pero su mayor méri-

rito consiste en la explicacion de las monzónes, que parece muy dificil por qualquier otro principio. Suponiendo la circulacion precedente, es necesario considerar, que las tierras adyacentes al mar septentrional de la India como la Arabia, Persia, India &c. están por la mayor parte dentro de la latitud de 30°: y que, tanto en estas tierras, como en las del Africa próxîmas al Mediterráneo, no puede ménos de haber calores excesivos quando el Sol está en el trópico de Cancer: y que, al contrario, el ayre debe estar bastante templado quando el Sol se aproxîma al otro trópico. El ayre, que segun la regla general viene del NE en el mar Indio, estará, pues, algunas veces mas caliente y otras mas frio que el que por esta circulacion vuelve por el SO; y de aqui resultará, que, como sucede, la corriente ó viento inferior sea ya NE ya SO.

667 Esta es la idéa general de la explicacion del Doctor Halley. Pero, aunque á primera vista parezca tan satisfactoria como ingeniosa, algunos célebres físicos la han juzgado algo vaga y buscado la produccion de los vientos en otras causas. Mr. d' Alembert los atribuye al efecto del fluxo y refluxo de la atmósfera (*593*, *628*): y Mr. Bernoulli, recurriendo á otros principios (*628*), explica facilmente todos los fenómenos generales, por las cir-

culaciones del ayre (veanse las Memorias sobre los vientos y las corrientes de ambos sábios) que establece. Pero, sean las que fueren las causas generales, es evidente, que los fenómenos no pueden ménos de resultar infinitamente variados por las circunstancias locales en diversas regiones; y que por consiguiente, los vientos en la mar deberán ser, como en efecto son, mas regulares que en tierra; porque la mar es un espacio libre, donde nada se opone á la direccion del viento, y que en tierra las montañas, los bosques, las ciudades &c. son otros tantos obstáculos que pueden mudar la direccion del viento, y que con freqüencia los producen contrarios á los primitivos.

668 Además de aquellas, hay otras causas que pueden alterar y producir los vientos. Tales son, por exemplo, el fluxo y refluxo del Mar, los rios rápidos, el derretimiento de los hielos, el descenso de las nubes, las exâlaciones y vapores que se elevan del seno de la Tierra y su efervescencia &c. En una palabra: causa de viento es todo aquello que puede ocasionar inmediatamente algun movimiento en la atmósfera, ó hacer perder el equilibrio de sus columnas; y asi, considerando quantas pueden ser estas causas y las combinaciones de que son capaces, cesará la sorpresa con que podrían

drían mirarse las variaciones é irregularidad á que están sujetos los vientos en nuestras regiones.

NOCIONES SOBRE EL MODO de levantar las Cartas y Planos.

669 Para formar la Carta de qualquiera porcion de la superficie de nuestro globo, solo es necesario, averiguar la posicion absòluta de cada lugar: y despues situarlos todos, segun sus latitudes y longitudes, en la proyeccion que se adopte.

670 Para esto, lo mejor sería trasladarse á cada lugar, y observar en él su latitud y longitud por los mejores métodos que subministra la Astronomía; pues, establecidos asi y colocados independientemente, la misma representacion manifestaría todas las circunstancias relativas.

671 Pero como este procedimiento sería demasiado penoso y largo, en la práctica basta observar particularmente la posicion de los puntos mas notables é importantes: y establecidos estos con el mayor escrupulo, referirles despues todos los otros. En la costa occidental de España, por exemplo, conocidas exâctamente las situaciones del puerto de Cádiz, cabo de San Vicente, puerto de Lisboa, cabo Finisterre, puerto del Ferrol &c. esto es, de los

puertos mas concurridos y cabos mas críticos para la navegacion, todos los demás puntos podrán determinarse facilmente, por sus relaciones locales.

672 Sin embargo, el averiguar la posicion absoluta de un lugar no implica, que precisamente haya de observarse la latitud y longitud en él. Puede observarse el primer elemento, estando en el mismo paralelo, ó marcándolo en la línea éste-oéste, y el segundo, estando en el mismo meridiano, ó marcándolo en la línea norte-sur: y esto, que viene á ser lo mismo, es mas cómodo en varios casos, y muy útil, sobre todo, para conocer una costa navegando á su vista con el auxîlio de los reloxes. Aún en este caso, puede observarse la latitud ó longitud despues de pasado aquel término: y notar con el mayor cuidado la diferencia en longitud contraida desde el instante de estar en él hasta el de la observacion, para deducir por ella la que se necesita. Pero haciéndolo asi, es preciso atender á que el interválo ó las corrientes no produzcan mucha incertidumbre en la estima de la Aguja y Corredera.

673 Tambien puede determinarse la situacion de un punto de la costa por operaciones inversas á las indicadas (167), esto es, hallando la situacion
Fig. 20. del punto C, por la posicion de la basa AB y los ángulos de las marcaciones CAB, CBA. En este ca-

caso, podrá observarse la latitud y longitud en B, y luego en A: de lo que se deducirá, el valor de AB y su posicion respecto al meridiano; y con estos (calculando en el triángulo ACB el lado CB ó CA) la latitud y longitud de C, por sus diferencias con las de B ó A.

674 Como el mismo método sirve para establecer los puntos de una gran porcion de costa, en cada una de las dos estaciones B, A deben hacerse marcaciones á todos los lugares visibles desde ambas, teniendo cuidado de mantener la embarcacion sin movimiento, mientras se executan: y para esto, será bueno usar del ancla, quando las circunstancias lo permitan. De aqui resulta, que la primera basa AB no puede ni debe ser muy larga; y que, por consiguiente, es necesario mudarla y enlazarla sucesivamente, segun se vayan avistando las diferentes porciones de la costa. Por esta causa, para no perder todo un dia ó mas en el corto espacio de una basa, por observar las latitudes y longitudes de ambos extremos, conviene y es casi indispensable recurrir á la estima; y despues de bien observada la situacion de la primera estacion B, medir cuidadosamente el rumbo y la distancia, para encadenar con ella todas las demás estaciones, hasta establecer otro término con igual seguridad.

Con

675 Con dos embarcaciones en diferentes lugares A, B puede hacerse al mismo tiempo lo que con una sola sucesivamente; pero en este caso, es necesario poder medir la distancia AB que las divide. El Lord Mulgrave, se ha servido utilmente á este fin del Megámetro de Mr. Charnieres, observando con este instrumento el ángulo que subtiende desde un buque el palo del otro: y es claro, que con este dato, y la altura absoluta del palo conocida, se deduce facilmente la distancia de que se trata. Tambien podrán substituirse á las marcaciones con la Aguja (necesarias quando no hay dos marcas), las medidas de los ángulos B y A, tomadas con el Quadrante de reflexîon entre la segunda embarcacion y el objeto C. Pero en estas y demás operaciones semejantes, deberá tenerse el mayor cuidado en que las observaciones de los dos buques sean hechas en los precisos instantes señalados, y que no varíe de lugar en el interválo, si por falta de observadores se hicieron las del mismo buque sucesivamente.

676 Determinada esta distancia, la observacion de la altura aparente del objeto C basta para inferir por los principios dados (176, 177) su altura absoluta sobre la superficie del mar. Por lo qual, con el auxîlio del Megámetro, puede conocer-

cerse y describirse perfecta y brevemente una costa sin pisarla. Ventaja considerable, para preparar el crucero ó entrada de una esquadra en una costa enemiga é ignorada.

677 Si se conoce la altura del objeto, pero no su situacion en el globo, una sola marcacion con la observacion de su altura aparente, basta tambien para inferir la última (177).

678 Por estas razones, conviene averiguar las alturas de las costas, y con particularidad de los montes mas notables. Y para ello pueden emplearse las observaciones del Barómetro, que, bien practicadas, son bastante exâctas, y mas breves que las medidas geométricas [1]. Veanse á este fin las obras de Mr. de Luc, y el tomo 67 de las Transacc. filos. que contiene las especulaciones del Caballero Shuckburgh, y del Coronel Roy sobre el asunto. Magallanes, en la descripcion de sus Barómetros, tambien ha dado las reglas del primero con exemplos.

679 Establecidos los puntos importantes, queda determinada con exâctitud toda la configuracion de

(1) El uso del Barómetro en la mar es tambien muy útil para anunciar los temporales con el descenso del mercurio, y en toda embarcacion debe llevarse uno de estos instrumentos, que actualmente se construyen muy perfectos en Inglaterra y Francia.

de la costa, y los baxos, sondas &c. se sitúan facilmente, refiriéndolos por marcaciones á los objetos conocidos. En estos casos, puede servir el bote, para aterrarse, sondar alrededor de los baxos, y observar las corrientes, la altura y hora de la maréa &c. Y en los peligros y puntas mas salientes, convendrá buscar uno ú dos objetos muy notables, como una torre, monte &c. para que sus enfilaciones ó marcaciones sirvan de señales.

680 Para utilidad de los navegantes, á las Cartas marinas deben acompañar las vistas ó perspectivas de las tierras que sirven para reconocer las costas á diferentes rumbos, y multiplicarlas quanto sea posible, porque son las que sirven de gobierno á los Pilotos que no han freqüentado los mismos parages. Tambien conviene describir la naturaleza de la orílla, distinguiendo las tierras altas y las baxas, las dunas, playas, escarpados &c.

681 Igualmente, deben expresarse con un ancla los parages que ofrecen buenos fondeaderos, y distinguir los que sean malos: las corrientes, por medio de una flecha con la punta vuelta á la parte de donde viene la corriente, y á su lado lo que corre cada hora ó dia: los vientos periódicos, por la misma señal en la sombra, con los meses en que reynan: las sondas en baxa mar, por números cuya unidad

dad se indique: el establecimiento de las mareas, con cifras romanas, y á su lado las comunes elevaciones del fluxo: las enfilaciones de los baxos, indicando si velan sobre el agua, y estableciendo los objetos á que se refieren en sus verdaderas situaciones &c. Para hacer mas clara la Carta, pueden mudarse ó abreviarse tales señales; pero siempre es preciso que sean bien distintas, y que haya una explicacion clara de ellas en un lugar aproposito de la misma Carta.

682 La determinacion directa de los puntos principales por observaciones astronómicas, y las de los demás por el cálculo trigonométrico ó construccion geométrica, son los materiales que forman una buena Carta; pero, para que su aplicacion no produzca los errores que ántes se evitaron, esto es, para que la representacion manifieste el verdadero resultado de las operaciones, son indispensables muchas atenciones que parecen demasiado menudas á primera vista, pero que nunca deberán mirarse como escrupulosidades superfluas. Es claro, por exemplo, que despues de trazar una Carta originalmente como ya explicamos (13), la copia sacada al transparente podrá salir bien desfigurada; y que este peligro es aún mayor en el grabado, si se calca el dibujo y usa el agua fuerte. En este caso, como los defectos del modelo se comunican á todas las estam-

 pas

pas deben evitarse con el mayor esmero todas las imperfecciones: y esto, á nuestro parecer, solo puede conseguirse, teniendo presente y siguiendo todas las consideraciones que debemos á Mr. Fleurieux, y que se han adaptado con fruto algunas veces. Vease, pues, lo que dice este hábil oficial sobre el asunto en el primer tomo del viage de la Isis, ó en la Enciclopedia metódica, que lo copia á la letra en el Diccionario de Marina.

De los planos hydrográficos. 683 Las cartas marinas son útiles y bastan para dirigir las operaciones de los viages en el mar libre; pero, para entrar y salir en los puertos, y aun para todas las operaciones de la Navegacion práctica, se necesitan noticias mas circunstanciadas, y descripciones particulares de cada pedazo de la costa. Estos son los que se llaman *planos hydrográficos*, los quales se construyen, como los topográficos terrestres, sin atender á la curvatura de la Tierra. Un plano hydrográfico es, pues, la representacion de todas las partes de un puerto, bahía ó porcion de costa, consideradas como si estuviesen en el mismo plano horizontal: y se vé, que los datos necesarios para formarlo se reducen, á determinar el poligono que abraza el contorno que ha de describirse, y la posicion de cada punto en el área de la misma figura.

En

684 En un poligono qualesquiera, tomando por basa comun uno de sus lados y tirando desde sus dos extremos diagonales á todos los vértices de sus ángulos, pueden considerarse tantos triángulos quantos lados tiene el poligono ménos dos. Asi, midiendo los ángulos que forman con la basa dichas diagonales, resultarán facilmente las posiciones relativas de todos los vértices, esto es, de todo el contorno: y formando un triángulo con la misma basa y las visuales desde los dos extremos á qualquier otro punto, la situacion de este en la figura.

685 Esta consideracion basta para percibir todo lo que hay que hacer para levantar un plano. Elegida una basa propia para el contorno, que debe ántes ojearse, no hay mas que situar el centro de un Grafometro, Teodolite ú otro instrumento de esta clase, primero en un extremo y luego en otro, ó dos instrumentos al mismo tiempo en ambos: y medir, desde cada uno, los ángulos de la basa con las visuales á todos los puntos que ha de comprehender el plano. Hecha con distincion una lista de estos ángulos, trazar en el papel una línea para representar la basa: y desde sus extremos tirar líneas de lapiz, formando con ella los ángulos correspondientes; sus intersecciones darán las

posiciones de todos los puntos, y el plano que resulte será una figura semejante á la del terreno y mar.

686 Parece ocioso notar, que en las operaciones, solo se sitúan los puntos principales; y que, como las direcciones de las costas son casi siempre curvas é irregulares, en el plano se señalan éstas por líneas tiradas á pulso, siguiendo los puntos determinados. Por cuya razon es muy conveniente, que el observador recorra y exâmine toda la configuracion de las orillas, para darles en el papel su verdadera figura.

687 Lo mismo es medir los ángulos en la basa, que los ángulos formados por una línea de posicion conocida respecto á ella, y la visual desde cada extremo. Por consiguiente, la Aguja puede suplir el Grafometro ó Teodolite, marcando con ella qualquier punto desde ambos extremos, y observando la direccion de la basa respecto al meridiano ó línea norte sur. Conocida esta direccion, las marcaciones desde el punto ignorado á los dos extremos de la basa producen el mismo efecto, y este medio es mucho mas cómodo quando no se tiene mas instrumento que la Aguja, para las sondas &c. Pero la exâctitud exîge siempre la preferencia de instrumentos circulares bien divididos, y colocados en terreno firme.

En

688 En los casos de observar un objeto movible, como el bote que vá sondando, conviene además, que el anteojo ó alidada pueda seguirlo, y que en el momento que indique una señal, queden medidos los dos ángulos de la basa. Las horas de reloxes bien arreglados y notadas por los tres observadores, pueden servir para no padecer equivocaciones, y asegurarse de las medidas que fueron hechas en el mismo instante.

689 En el uso de la Plancheta, se ahorran todas las medidas de los ángulos; porque, situando cada extremo de la línea tirada en el papel para representar la basa, verticalmente sobre su correspondiente en esta y en la misma direccion, las visuales señaladas por líneas de lapiz determinan todos los triángulos que se conciben, para fixar las situaciones de los puntos.

690 Tanto en estas operaciones, como en las semejantes indicadas sobre las Cartas, es necesario atender á que los ángulos de la basa sean de la abertura que conviene, para que los errores cometidos en las medidas de los ángulos influyan lo ménos posible en la situacion del punto que determinan. Para asegurar la mayor exâctitud en esta parte, bastará tener presentes los principios enunciados (166, 170, 173), aplicándolos á las circuns-

cunstancias locales, que se perciben á la primera inspeccion del parage. Asi, si elegida una basa con atencion á ciertos puntos, se vé que los restantes no podrían referirse á la misma sin peligro de equivocaciones, deberá mudarse la basa y establecerla donde convenga.

691 Lo mismo será necesario, quando haya objetos en el recinto que no puedan descubrirse desde los extremos de la primera basa. Pero estas mutaciones no producen inconveniente alguno, y aseguran la precision á costa de poquísimo trabajo; porque todas las basas posteriores pueden enlazarse á la primera, quando no inmediatamente, por medio de triángulos fixados por estaciones intermedias bien elegidas.

692 Trazada en el papel una figura semejante á la del parage, la sola medida de la basa, ó la de otra dimension qualquiera, comparada á la línea que la representa, dará facilmente el valor de la escala que debe acompañar el plano, para medir la distancia de unos puntos á otros. Esta escala, ó la relacion entre las dimensiones del parage y su representacion, se fixa ordinariamente ántes de trazar el plano, para que todo el recinto resulte comprehendido en el espacio que conviene á la magnitud del papel y particularidades que deben expresarse.

En

693 En los planos se omiten ordinariamente las longitudes y latitudes ; pero siempre se pone una rósa (13, 8°), ó se indica simplemente la direccion del meridiano.

694 Hasta ahora hemos hablado en el supuesto de que todos los puntos se hallen en el mismo plano horizontal ; pero es claro, que, aunque unos estén mas elevados que otros, será facil reducirlos á aquel caso : ya sea usando instrumentos que indiquen inmediatamente los ángulos determinados por sus proyecciones, ya sea calculándolos por los principios de la Trigonometría esférica.

695 En el mismo plano, ó en instruccion separada, debe tambien indicarse la naturaleza de las costas y sus vistas, con los objetos notables adyacentes : las islas, baxos, arrecifes &c. en sus lugares : la direccion y fuerza de las corrientes y maréas : el establecimiento de estas, y las alturas á que se elevan : los mejores fondeaderos, con sus sondas en baxa-mar, y los vientos á que están expuestos : los canales, con sus sondas, y las mejores derrotas que dirigen á los fondeaderos, y especialmente la entrada y salida al mar libre : las marcas y enfilaciones que los distinguen : la naturaleza del fondo, y modo en que conviene amarrar las embarcaciones ; los vientos que reynan en las di-

diferentes estaciones, y en particular los que sean peligrosos, con las señales que puedan anunciarlos: los lugares en que pueda hacerse agua, leña ó lastre, y en qué abundancia: la perspectiva del pueblo visto desde el mar á cierto rumbo y distancia, con su latitud y longitud, su nombre, el reyno y provincia en que está situado, el mar que baña la costa: y en general todas las noticias que puedan conducir á la utilidad del plano.

696 Los planos suelen labarse de colores, y éstos deben apropiarse á los objetos, por reglas muy comunes que se hallarán en qualquiera obra sobre el dibuxo ó modo de levantar los planos.

CONCLUSION.

697 Los principios antecedentes bastan para averiguar la situacion de la nave en el globo á qualquier tiempo, y las circunstancias relativas de unos lugares á otros; pero, como ya indicámos (Introduccion), para trazar la derrota que debe seguirse ántes de emprender un viage, es necesario comparar los diversos caminos que conducen al destino, con relacion á las corrientes, vientos, baxos &c. Asi, los principios de la Navegacion matemática, deben aplicarse á estos datos, que subministra la His-

Historia natural y Geografía física, y sin ellos solo por acaso podrian executarse los viages breve y felizmente.

698 En el dia, á beneficio de los grandes progresos hechos en la Navegacion de tres siglos á esta parte, la historia de los vientos, los movimientos del Océano, y la superficie de nuestro globo nos son bastante conocidos, para principiar y proseguir qualquiera viage con todo acierto. Es verdad, que aquellos conocimientos aún no se han reducido á sistéma por la mayor parte, y que los derroteros comunes carecen de toda la prolixidad y exâctitud de que serían capaces. Pero el Piloto, consultando los diarios de los demás navegantes, y haciendo un estudio fundamental de la historia de los viages marítimos podrá suplir este defecto, y formarse sus mismas derrotas, quando llegue el caso.

699 Sería de desear, sin embargo, que estos facultativos hallasen con ménos trabajo las noticias que necesitan para la acertada práctica de su exercicio: y esta facilidad sería tanto mas importante, quanto sin ella, apenas puede obligarseles á un estudio tan tedioso y tan costoso. Este inconveniente quedaría vencido con una completa obra de Navegacion experimental que podría formarse con los conocimientos actuales; pero, para hacer el beneficio

perpetuo, serían indispensables los auxîlios del celoso gobierno de alguna Nacion marítima, que, adquiriendo por autoridad ó prémio los diarios de todos los navegantes, los pusiese en manos que supieran entresacar lo útil, y perfeccionar continuamente el primer ensayo. Las sucesivas adiciones de tal obra manifestarían el estado de la Navegacion en épocas señaladas, y el Piloto no tendria mas que consultarla, para caminar con el posible conocimiento por toda la redondez del globo.

700 Mientras llega la execucion de este proyecto, para el qual hay ya algunas partes principales bien trabajadas, nosotros nos ceñirémos á notar: que los adelantamientos modernos facilitan un medio eficaz de abreviar las navegaciones, tanto en los pasos por las proxîmidades de las tierras, como en las recaladas. En el primer caso, la ignorancia de la longitud del buque obligaba á dár á qualquier baxo, punta &c. un resguardo, que casi siempre alargaba la navegacion con el rodéo: y en el segundo, para alcanzar el puerto, era preciso buscar su paralelo en un punto que distase de aquel de toda la incertidumbre de la estima. Estas precauciones se toman generalmente todavia, pero por ignorancia del Pilotage; pues, con la práctica de los métodos astronómicos, el mayor resguardo que

en

en el día exîge la prudencia mas escrupulosa, no puede jamás llegar á medio grado de longitud en los parages conocidos, y solo exceder quando haya incertidumbre en la situacion del que se busque.

701 ¡Qué satisfaccion no debe sentir todo amante de la humanidad quando cotege estos tiempos con los del reynado de la ballestilla! ¡Qué intrepidéz en sus operaciones, y estímulo para aumentar sus conocimientos, no debe producir en los Pilotos instruidos, el considerarse tan próxîmos al último grado de perfeccion del Arte! ¿Y podrá aún darse el caso de que los hombres, que se encargan de dirigir los que se abandonan á sus luces en medio del Océano, dexen de emplear ó ignoren los recursos inventados para su seguridad, y que son el fruto del tiempo y de los grandes esfuerzos de los hombres y naciones mas ilustradas?



INDICE

DE LAS SECCIONES

DEL SEGUNDO LIBRO.

Primera Parte.

Que contiene la Navegacion pura.

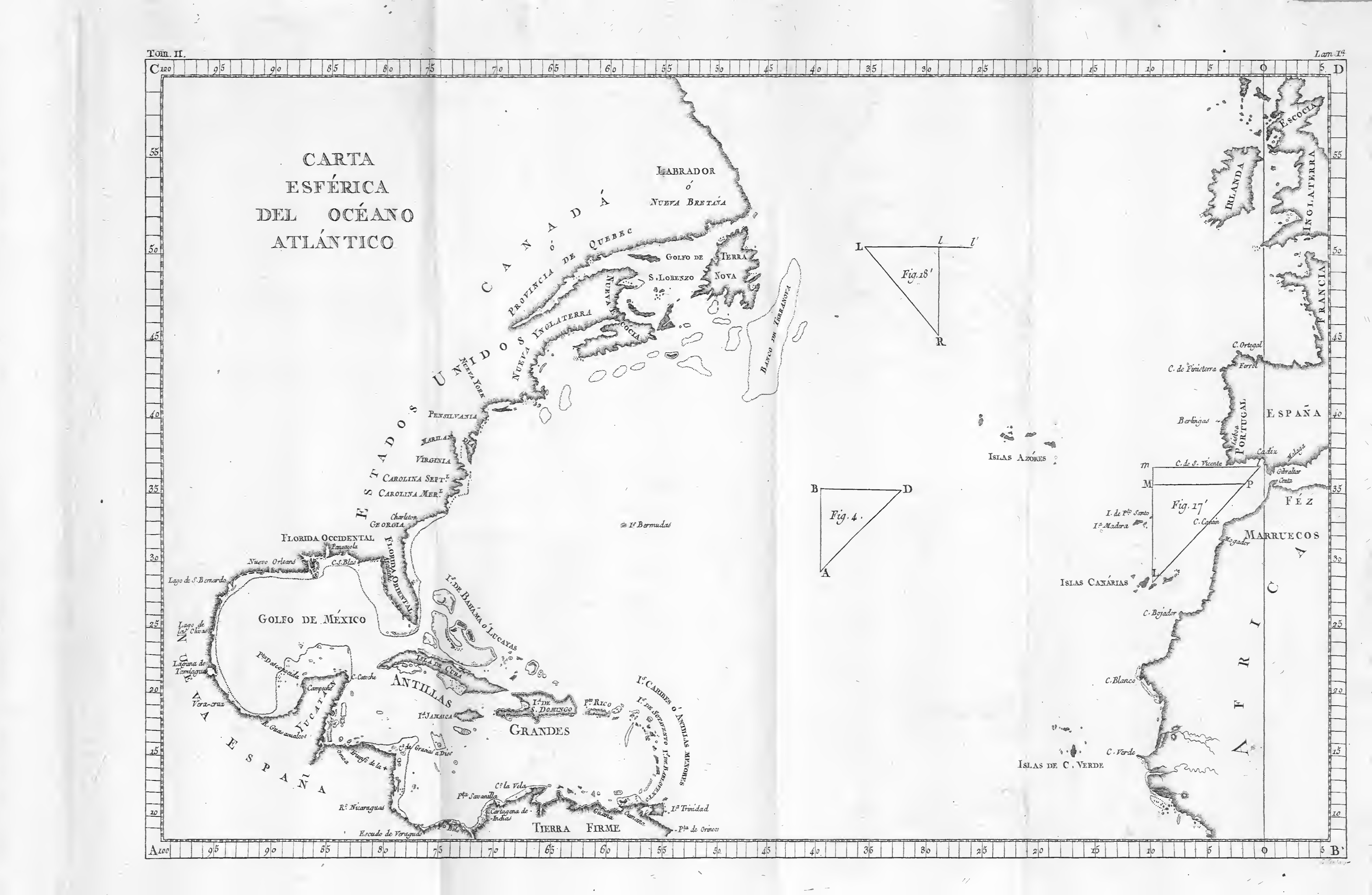
Segunda Parte.

Navegacion astronómica.

Tercera Parte.

Conocimientos independientes necesarios al Piloto.





Tom. II.
Lam. 1a
CARTA
ESFÉRICA
DEL OCÉANO
ATLÁNTICO
LABRADOR
ó
NUEVA BRETAÑA
CANADÁ
ó
PROVINCIA DE QUEBEC
GOLFO DE
S. LORENZO
TERRA
NOVA
NUEVA ESCOCIA
NUEVA YNGLATERRA
BANCO DE TERRANOVA
ESTADOS UNIDOS
NUEVA YORK
PENSILVANIA
MARILAN
VIRGINIA
CAROLINA SEPT.
CAROLINA MER.
Charleston
GEORGIA
FLORIDA OCCIDENTAL
Pensacola
FLORIDA ORIENTAL
Nuevo Orleans
C. S. Blas
Lago de S. Bernardo
GOLFO DE MÉXICO
Lago de las Chivas
Laguna de Tamiagua
Vera-cruz
NUEVA ESPAÑA
YUCATAN
Campeche
C. Catoche
ANTILLAS
GRANDES
ISLA DE CUBA
I.a JAMAICA
I.a DE S. DOMINGO
P.to Rico
I.s DE BAHAMA ó LUCAYAS
I.a Bermudas
I.s CARIBES ó ANTILLAS MENORES
I.a Trinidad
R. Nicaraguas
Escudo de Veraguas
Cartagena de Indias
P.ta Savanilla
C. la Vela
TIERRA FIRME
Cumaná
Guaira
P.ta de Orinoco
C. de Gracias á Dios
Fig. 18
Fig. 4.
Fig. 17
ISLAS AZÓRES
IRLANDA
ESCOCIA
INGLATERRA
FRANCIA
C. Ortegal
Ferrol
C. de Finisterra
Berlingas
Lisboa
PORTUGAL
ESPAÑA
Cadiz
Malaga
Gibraltar
Ceuta
C. de S. Vicente
I. de P.to Santo
I.a Madera
FEZ
MARRUECOS
Mogador
C. Cantin
ISLAS CANARIAS
C. Bojador
C. Blanco
C. Verde
ISLAS DE C. VERDE
AFRICA


BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
SEVILLA

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

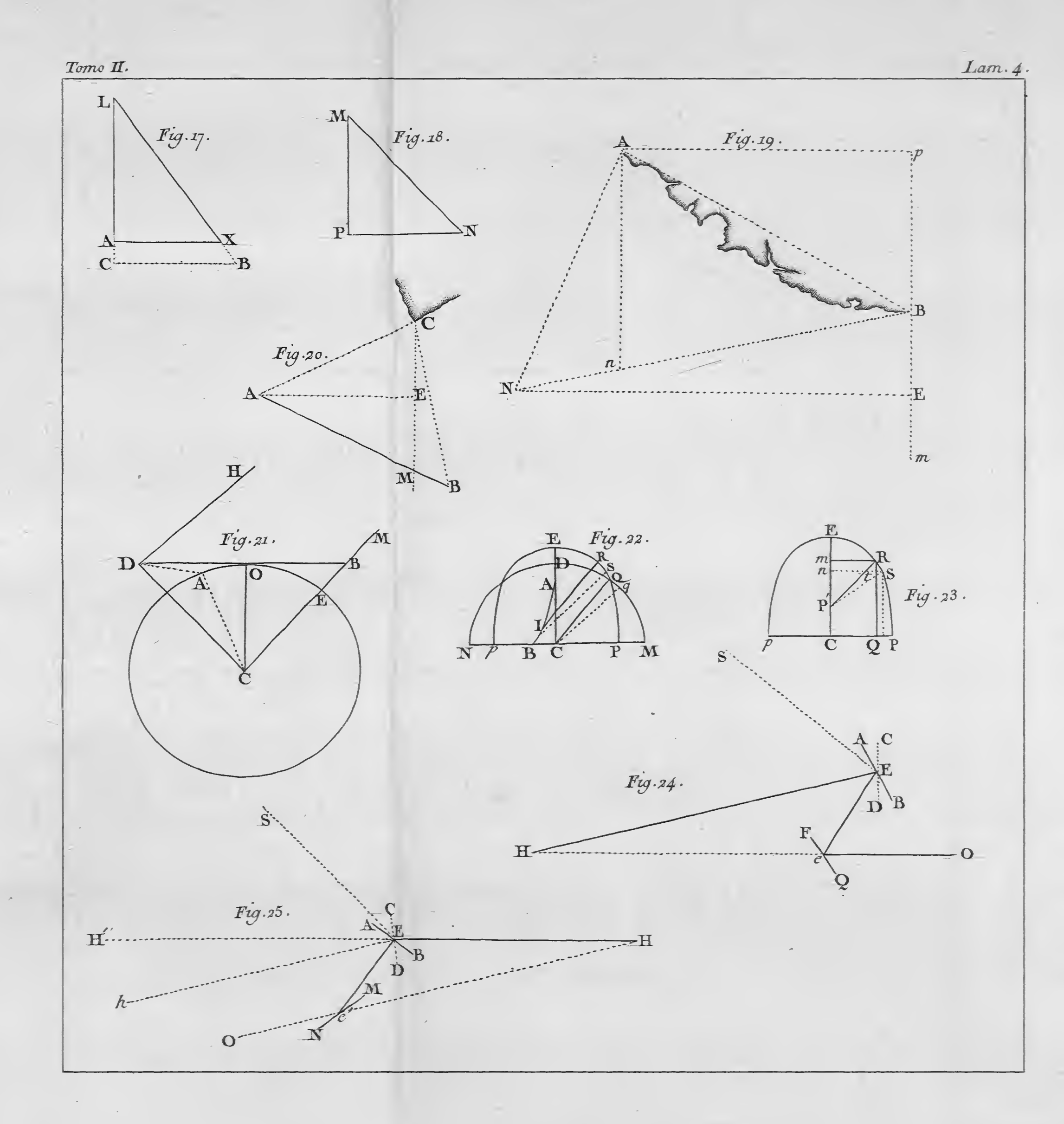
Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.




Fig. 17.
L
A
X
C
B
Fig. 18.
M
P
N
Fig. 19.
A
p
B
n
N
E
m
Fig. 20.
C
A
E
M
B
Fig. 21.
H
M
D
O
B
A
E
C
Fig. 22.
E
D
R
S
Q
q
A
I
N
p
B
C
P
M
Fig. 23.
E
m
n
R
S
t
P
p
C
Q
P
Fig. 24.
S
A
C
E
D
B
F
H
c
O
Q
Fig. 25.
S
C
A
E
H′
H
B
D
h
M
c′
O
N



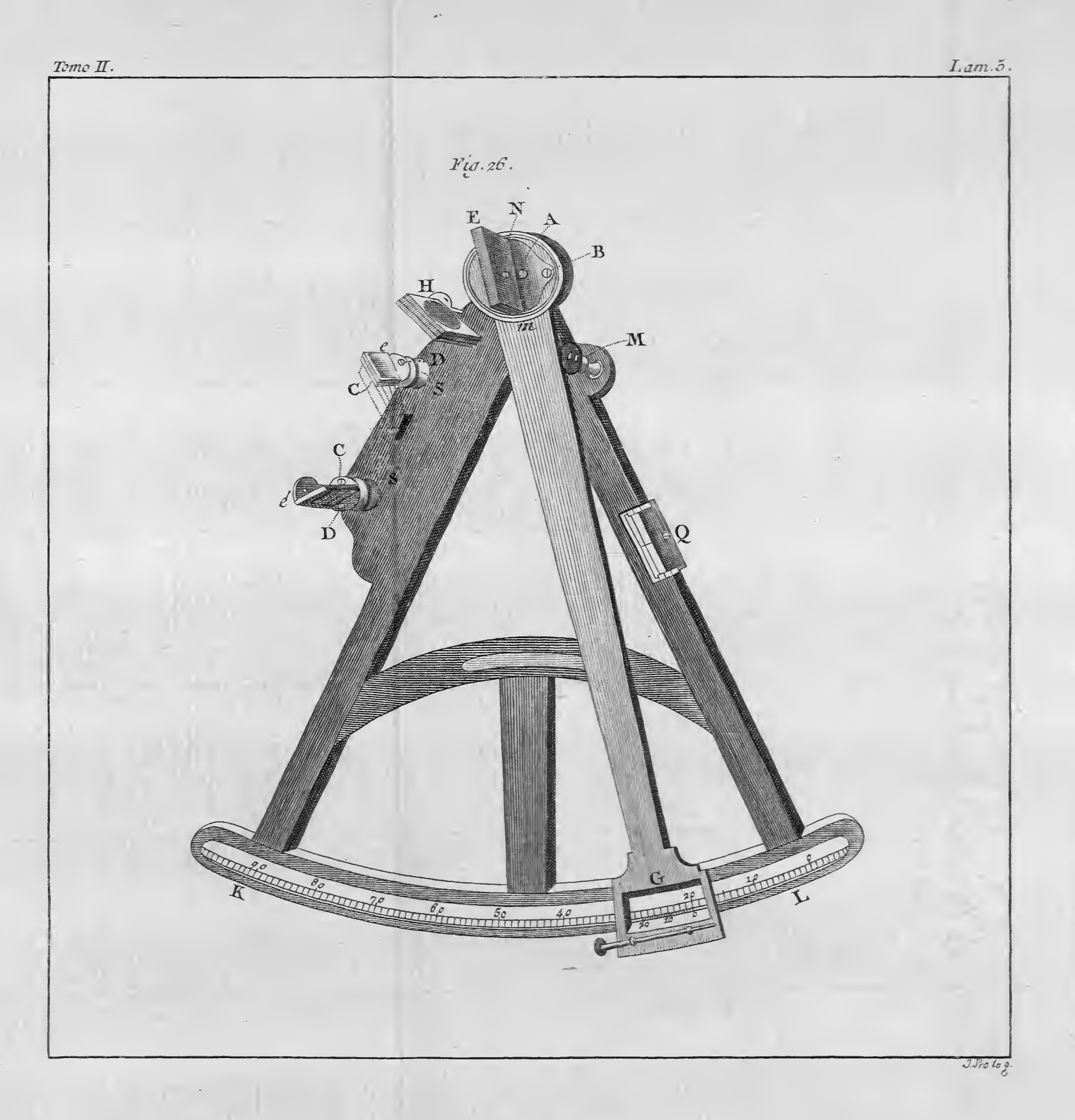

Fig. 26.
E
N
A
B
H
m
M
e
D
C
S
C
S
e
D
Q
G
K
L
90
80
70
60
50
40
10

Fig. 27.

Fig. 28.

Fig. 29.

Fig. 30.

Fig. 31.

Fig. 32.

Fig. 33.

Fig. 34.

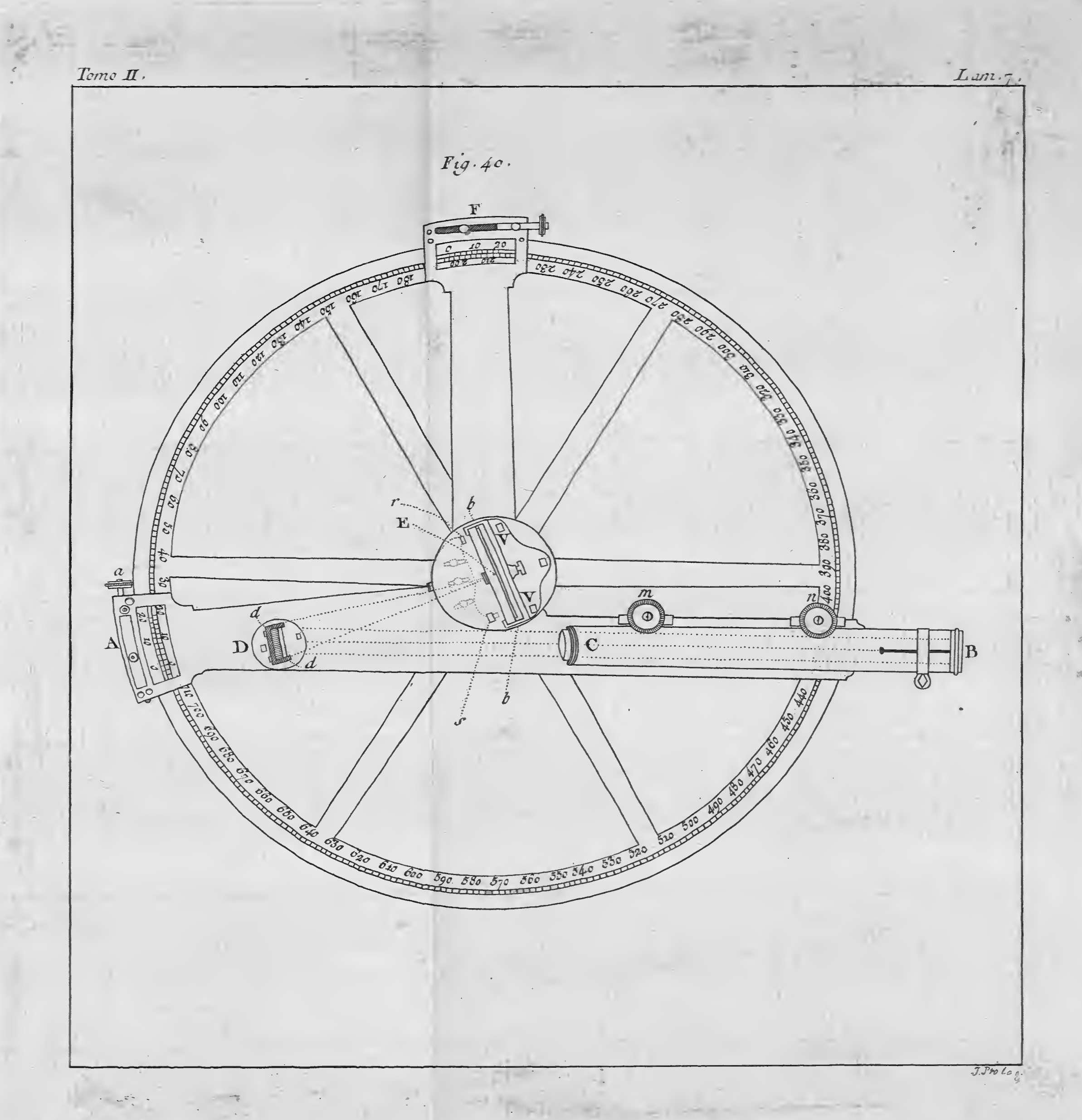
Fig. 35.

Fig. 36.

Fig. 37.

Fig. 38.





J. Pro lo g.


BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
SEVILLA

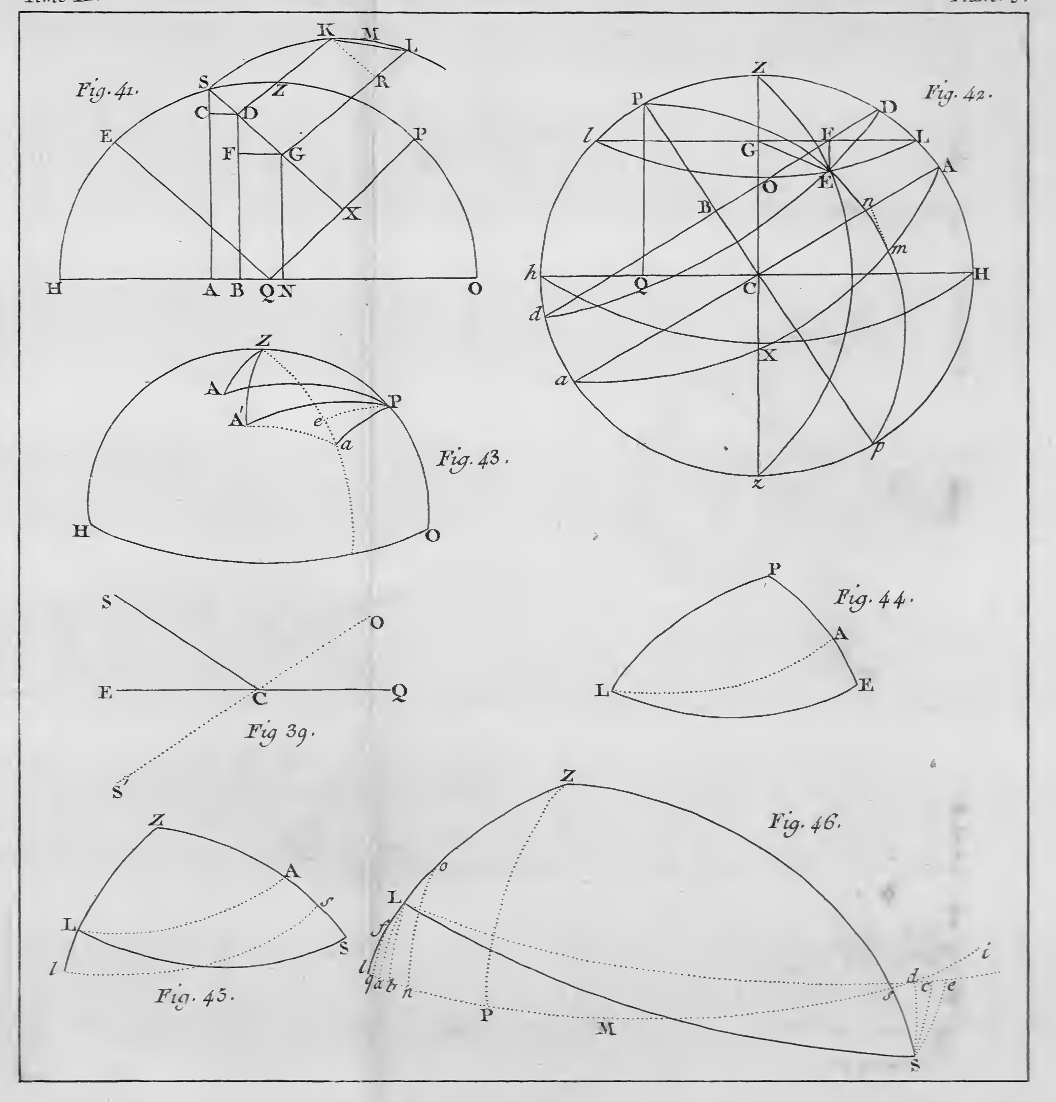

Fig. 41.
K M L
S Z R
C D
E P
F G
X
H A B Q N O
Fig. 42.
Z
P D
l G E L
O E A
B n
m
h Q C H
d
X
a
p
z
Fig. 43.
Z
A P
A′ e
a
H O
Fig. 44.
P
A
L E
Fig 39.
S
O
E C Q
S′
Fig. 45.
Z
A
s
L
S
l
Fig. 46.
Z
o
L
f
l
q a b n
P M
d i
s c e
S



Fig. 47.

Fig. 48.

Fig. 49.

Fig. 50.



